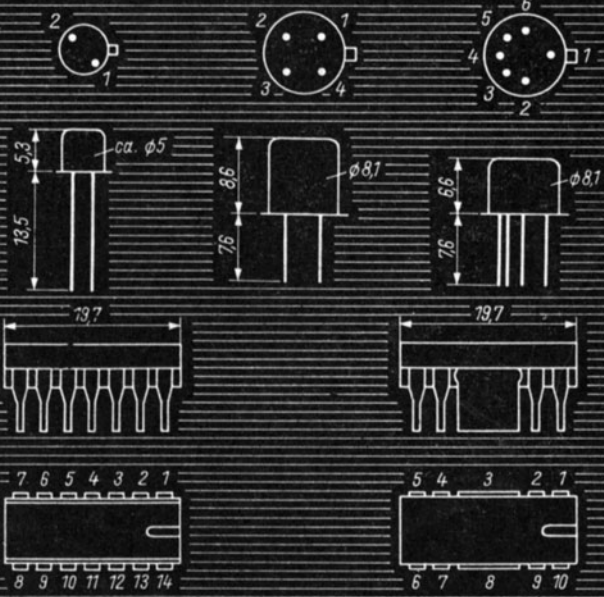
amateurreihe

electronica



Klaus K. Streng

142

Analoge Integrierte Schaltungen von TESLA

electronica · Band 142
Klaus K. Streng

Analoge Integrierte Schaltungen von TESLA

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

1. Auflage, 1976, 1/—15. Tausend
© Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) — Berlin, 1976
Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV 3539
Lektor: Wolfgang Hartmann
Zeichnungen: Hans-Georg Hauptvogel
Typografie: Peter Mauksch
Hersteller: Ingeburg Zoschke
Vorrauskorrektor: Günter Fröhlich
Korrektor: Ingeborg Kern
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 1. 9. 1975
Bestellnummer: 745 762 2
DDR 1,90 M

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
1.	Einleitung	6
1.1.	Was sind Integrierte Schaltungen?	6
1.2.	Vorläufer der Analogen IS von TESLA	9
1.3.	Technologie der Analogen IS von TESLA	12
1.4.	Stromlaufplan und Anschlüsse von IS	16
1.5.	Allgemeines über Operationsverstärker	20
2.	Integrierte Schaltungen	26
2.1.	NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0402*	26
2.2.	NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0403*	26
2.3.	NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0403 A*	32
2.4.	NF-Verstärker *MAA 115*	33
2.5.	NF-Verstärker *MAA 125*	36
2.6.	NF-Verstärker *MAA 145*	41
2.7.	NF-Verstärker *MAA 225*	43
2.8.	NF-Verstärker *MAA 245*	46
2.9.	Breitbandverstärker *MAA 325*	48
2.10.	Breitbandverstärker *MAA 345*	52
2.11.	Breitbandverstärker *MAA 435*	52
2.12.	Operationsverstärker *MAA 501*	56
2.13.	Operationsverstärker *MAA 502*	60
2.14.	Operationsverstärker *MAA 503*	62
2.15.	Operationsverstärker *MAA 504*	63
2.16.	Breitbandverstärker *MAA 525*	64
2.17.	Spannungsstabilisator *MAA 550*	65
2.18.	FM-ZF-Verstärker, Demodulator und NF-Vorverstärker *MAA 661*	67
2.19.	Spannungsstabilisator *MAA 723*	71
2.20.	Spannungsstabilisator *MAA 723 H*	74
2.21.	Operationsverstärker *MAA 725*	76
2.22.	Kompensierter Differentialverstärker *MA 3000*	76

2.23. HF-Verstärker *MA 3005* 81
2.24. HF-Verstärker *MA 3006* 85
2.25. FM-ZF-Verstärker, Produktdetektor und NF-Vorverstärker *MA 3013* 86
2.26. FM-ZF-Verstärker, Produktdetektor und NF-Vorverstärker *MA 3014* 88
2.27. Differenzverstärker *MBA 125* 88
2.28. Differenzverstärker *MBA 145* 90
2.29. Doppelverstärker *MBA 225* 93
2.30. Doppelverstärker *MBA* 245 96

3. Messungen an Integrierten Schaltungen 98

4. Vergleichsliste von TESLA-IS zu IS anderer Hersteller 100

5. Liste der Analogen Integrierten Schaltungen von TESLA (nach Anwendungsgebieten geordnet), Stand 1974 102

6. Literatur 103

Vorwort

Vor einigen Jahren tauchte zum ersten Male der Begriff *Integrierte Schaltung* (IS) in der Elektronik auf. Sie wurde nicht nur in der kommerziellen Elektronik eingesetzt, sondern eroberte sich auch in der Konsumgüterelektronik einen festen Platz. Auch unsere Amateure setzen diese neuen Baugruppen (Bauelemente wäre hier falsch!) immer mehr ein. Besonders die Integrierten Schaltkreise von TESLA (ČSSR) werden seit Jahren verwendet. Hier wiederum muß man zwischen *analogen* und *digitalen* IS unterscheiden. Analoge IS setzen die „konventionelle" Technik fort, die wir seit Jahren in allen elektronischen Geräten kennen: Rundfunk- und Fernsehempfänger, Verstärker, Stromversorgungsgeräte usw. Den digitalen IS wird wahrscheinlich die (fernere) Zukunft gehören. Es ist die Zukunft der Computer, der elektronischen Datenverarbeitung und der — digitalen Übertragungstechnik.

Leider fehlen von den analogen IS oft (wenn nicht meist) nähere Angaben über Aufbau, Sockelschaltung und Technische Daten, von Applikationsbeispielen ganz zu schweigen. Diese Lücke soll die vorliegende Veröffentlichung füllen. Dabei ist es mir ein Bedürfnis, meinen Kollegen von TESLA Rožnov für ihre Hilfe herzlich zu danken.

Allen Amateuren, denen diese Broschüre eine kleine Hilfe ist, wünsche ich viel Erfolg!

Berlin, Sommer 1974 *Klaus K. Streng*

1. Einleitung

1.1. Was sind Integrierte Schaltungen?

Der Begriff *Integrierte Schaltung, IS* abgekürzt, taucht seit Jahren zunehmend öfter in der Elektronik-Fachliteratur auf. Für den beruflich in der Elektronik Tätigen und für viele „alte Hasen" unter den zahlreichen Elektronikamateuren ist der Begriff nichts Neues. Für die vielen „newcomer", für alle die (meist jungen) Menschen, die sich erst mit der Elektronik näher anfreunden wollen, bedarf er einer Erklärung.

Alle geläufigen elektronischen Geräte kleiner Leistung, d. h. Rundfunk- und Fernsehempfänger, NF-Verstärker, Funksprechgeräte, kommerzielle Empfänger, aber auch Computer (Rechenautomaten), bestehen aus vielen Bauelementen (Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten, Dioden und Transistoren — um nur die wichtigsten zu nennen). Diese Bauelemente müssen sinnvoll miteinander verbunden werden, damit das betreffende Gerät funktioniert. Diesen Komplex der miteinander verbundenen Bauelemente bezeichnet man als Schaltung (der Begriff „Schaltung" hat aber noch andere Bedeutung).

Es ist bekannt, daß die Herstellung der Schaltung, eben das richtige Verbinden der Bauelemente, die größte Arbeit bei der Herstellung der elektronischen Geräte macht. Jeder Amateur, der schon einmal ein kleines Gerät — z. B. einen Fuchsjagdempfänger — selbst aufgebaut hat, kann dies bestätigen. In einem Fernsehempfänger sind mehrere hundert Lötstellen, in einem Computer noch wesentlich mehr. Ihre Herstellung erfordert natürlich Zeit — Arbeitszeit —, und die kostet Geld. Logische Schlußfolgerung (sie datiert nicht von heute!): Man muß einen Weg finden, diese mühsame „Verdrahtung" mit ihren vielen einzelnen Lötstellen zu automatisieren. Erster Schritt: Die *Gedruckte Schaltung*. Sie ist heute eigentlich allen Interessenten der Elektronik so geläufig, daß sie nur kurz er-

klärt wird: Die Verdrahtung ist hier ein leitender Teil der Platine, auf der sich die (kleinen) Bauelemente befinden. Die Leiterzüge der Platine (Leiterplatte) werden auf einfachem Wege (Siebdruckverfahren mit nachfolgender Ätzung) hergestellt. Die Lötung aller Bauelementeanschlüsse geschieht (nach deren Aufbringenauf der Leiterp latte — dem Bestücken) gleichzeitig in einem Bad flüssigen Zinns (Tauchlötverfahren). Wer sich näher für die Herstellung Gedruckter Schaltungen interessiert, kann darüber nachlesen — es gibt genügend Veröffentlichungen zu diesem Thema.

Die Gedruckte Schaltung ermöglichte erst die rationelle Massenfertigung elektronischer Geräte. Aber sie war nur der Anfang: Der Raumbedarf elektronischer Schaltungen nahm zwar durch die Einführung der Gedruckten Verdrahtung ab, aber nicht genügend. Darum entsann man sich eines Verfahrens, das öfter (z. B. während des 2. Weltkrieges) schüchtern versucht worden war: Der Integration, d. h. der räumlichen Zusammenfassung mehrerer elektronischer Bauelemente zu einer Einheit, einem „Superbauelement" gewissermaßen. Es entstanden auf diese Weise die Mikromodultechnik, die Dünnfilmschaltung, die Dickfilmschaltung. Die *KME-3*-Bausteine des VEB Kombinat *Keramische Werke* Hermsdorf sind ein Beispiel dafür. Aber das war noch nicht das Ende!

Es ist bekannt, daß man verschiedene passive Bauelemente — Widerstände, kleine Kondensatoren, Dioden — gemeinsam mit den Transistoren aus einem winzig kleinen Stückchen Siliziumkristall herstellen kann. Um ein einfaches Beispiel zu nehmen: Der Basisspannungsteiler (2 Widerstände) und der Emitterwiderstand können bereits mit dem betreffenden Transistor zusammen gefertigt werden. Das erspart nicht nur Platz (besser: Raum) in dem betreffenden elektronischen Gerät, sondern auch Arbeitszeit (man braucht die betreffenden Verbindungen nicht mehr anzulöten). Aber warum da stehenbleiben? Ein gesamter 3stufiger Verstärker z. B. kann dadurch so „in einem Stück" hergestellt werden. Seine Bestandteile, Transistoren und Widerstände, stellen kein Problem dar. Aber wie ist es z. B. mit den Koppelkondensatoren? Größere Kondensatoren (einige Nanofarad und größer) kann man noch nicht

„integrieren". Aber man kann die einzelnen Verstärkerstufen galvanisch koppeln, die Arbeitspunkte der Transistoren müssen dann entsprechend „gelegt" werden. Und so verfuhr man auch! Der gesamte 3stufige Verstärker ließ sich bequem in einem Transistorgehäuse unterbringen. Es liegt auf der Hand, welche Arbeitszeit- und Raumersparnis dieser *Integrierte Verstärker* gegenüber einem konventionellen transistorisierten Verstärker bedeutet.

Und genau wie Verstärker kann man auch andere Schaltungen integrieren, freilich nicht alle mit gleicher Einfachheit. Immerhin kennt man heute bereits Verstärker aller Art, Spannungsstabilisatoren und FM-Demodulatoren, Stereodemodulatoren und Produktdetektoren als Integrierte Schaltungen. Wir fassen sie zu dem Begriff *Analoge Integrierte Schaltungen* zusammen, im Gegensatz zu den Digitalen Schaltungen, wie sie z. B. in Computern und vielen Meßgeräten benötigt werden. Von ihnen soll in dieser Broschüre nicht die Rede sein. Nur soviel: Ihre Herstellungstechnologie unterscheidet sich nicht von den in dieser Broschüre behandelten Analogen Integrierten Schaltungen, wohl aber ihre Anwendung.

Eine weitere naheliegende Frage: Warum befaßt sich diese Veröffentlichung mit Analogen Integrierten Schaltungen von TESLA (ČSSR) und nicht mit denen unserer Industrie, was ja naheliegender wäre? Antwort: Unsere Industrie steht heute (1974) erst am Anfang bei der Herstellung von Analogen Integrierten Schaltungen. Im Gegensatz dazu stellt der Industrieverband TESLA (ähnlich unserer RFT) in seinem Werk in Rožnov seit vielen Jahren Analoge IS her. Sie sind bei unseren Amateuren zum Teil bekannt. Was bei uns fehlte, waren bis heute zusammenfassende Veröffentlichungen über Daten und Aufbau der Analogen IS von TESLA. Und eben dieses Versäumnis soll auf den nächsten Seiten nachgeholt werden, wobei auf die ausführlichen und zahlreichen Veröffentlichungen von TESLA zurückgegriffen werden konnte.

1.2. Vorläufer der Analogen IS von TESLA

In Veröffentlichungen von TESLA aus den Jahren vor etwa 1970 findet man bereits Kombinationen von MOS-Feldeffekttransistor und bipolarem Silizium-npn-Transistor (*KFZ 50*, *KFZ 51*) und sogar schon die Kombination MOS-Feldeffekttransistor plus linearer Schaltkreis (*KFZ 53*, *KFZ 54*). Diese Kombinationen waren in erster Linie für die elektronischen Musikinstrumente bestimmt, von denen TESLA ein repräsentatives Sortiment fertigt.

Der Vorteil der Kombination MOS-Feldeffekttransistor plus bipolarer Transistor liegt für viele Anwendungen auf der Hand. Beispiel: Mikrofonverstärker für Kristallmikrofon (hoch-

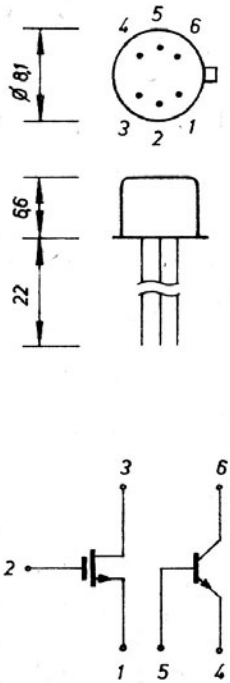


Bild 1.1 Sockelschaltung der TESLA-Transistoren *KFZ 50* bzw. *KFZ 51*

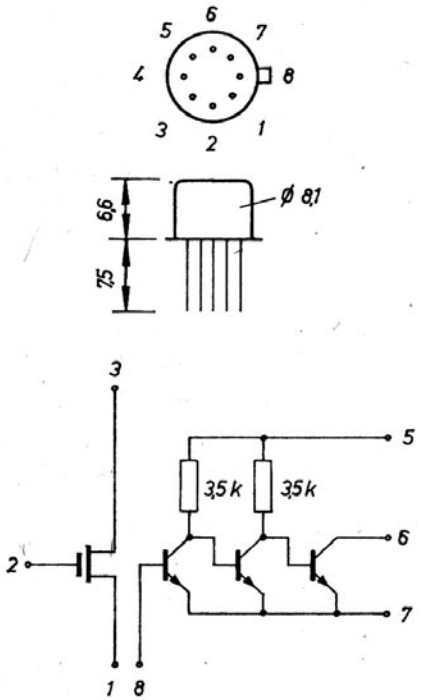


Bild 1.2 Sockelschaltung der IS-Vorläufer *KFZ 53* bzw. *KFZ 54* von TESLA

ohmiger Eingang) oder Tastkopf für Gleichspannungs-Millivoltmeter. Sinngemäß gilt dies auch für die Kombination MOS-Feldeffekttransistor plus IS.

Bild 1.1 und Bild 1.2 zeigen die Sockelschaltung, die Abmessungen und den inneren Aufbau der genannten Bauelemente. Ihre wichtigsten Daten: Der MOSFET in allen genannten Bauelementkombinationen ist identisch mit dem *KF 520*, der bipolare Transistor in *KFZ 50* und *KFZ 51* entspricht dem *KC 508*. Bleibt als einzige übrig die IS in *KFZ 53* und *KFZ 54*.

Hier gilt:

	$U_{5/7\ max}$ [V]	$U_{6/7\ max}$ [V]	$I_{7\ max}$ [mA]	$P_{v\ max}$ [mW]
KFZ 53	+ 7	+ 7	— 50	300
KFZ 54	+ 12	+ 12	— 50	300

Die IS in den Kombinationen *KFZ 53* und *KFZ 54* entsprechen weitgehend den IS *MAA 125* und *MAA 145* (s. S. 36).
Der Zeitpunkt der Entstehung der Kombinationen *KFZ 53* und *KFZ 54* lag natürlich nicht vor der ersten Entstehung von IS bei TESLA — die genannten Kombinationen enthalten ja je eine IS — sondern in der Zeit, als TESLA bereits Integrierte Schaltungen entwickelte und fertigte. Insofern kann die Überschrift dieses Abschnittes (Vorläufer der analogen IS von TESLA) den Widerspruch kritischer Leser herausfordern! Aber man darf die aufgezählten Transistor- und MOSFET-Kombinationen nicht als streng zeitlich getrennt betrachten, vielmehr entstanden sie etwa im gleichen Zeitraum bei der Suche nach neuen, rationelleren Verstärkerelementen. Geblieben von dieser parallelen Entwicklung sind die IS.
Ebenfalls als derartige Vorläufer der analogen IS bei TESLA kann man die *Darlington*-Kombination *KFZ 66*, *KFZ 68*, *KSZ 62* und *KSZ 62 A* betrachten. Bei diesen Bauelementen sind jeweils 2 Siliziumtransistoren in einem Gehäuse untergebracht. Sie sind teilweise verbunden, so daß sie nach außen als hochverstärkender Transistor (jeweils 2 in *Darlington*-Schaltung gekoppelte Einzeltransistoren) mit $h_{21\ E} = 300 \ldots 30\,000$ erscheinen. Ihre Schaltung und ihr Sockelanschluß ist in Bild 1.3 zu sehen.
Wenn von *Darlington*-Transistorkombinationen von TESLA die Rede ist, muß auch der *KD 610* erwähnt werden. Er ist eine *Darlington*-Kombination von einem Vorstufen- und einem Endstufentransistor ($P_{v\ max} = 35$ W bei 45 °C Gehäusetemperatur). Diese Transistorkombinationen im *TO-3*-Gehäuse hat 3 nach außen geführte Anschlüsse, d. h. sie unterscheidet sich bis auf die große Stromverstärkung nicht von einem „normalen" Leistungstransistor.

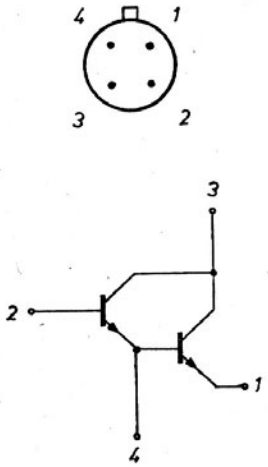


Bild 1.3
Sockelschaltung der *Darlington*-Transistoren *KFZ 66, KFZ 68, KSZ 62* und *KSZ 62 A* von TESLA

1.3. Technologie der Analogen IS von TESLA

Es wurde in Abschn. 1.1. gezeigt, was unter IS (Integrierte Schaltung) verstanden wird. Nun gibt es verschiedene Methoden, solche Schaltungen zu realisieren. Bereits die uns allen bekannte Gedruckte Schaltung (heute fast ausschließlich in kleineren elektronischen Geräten verwendet) stellt eine — wenn auch geringe — Form der Integration dar. Es folgten Dünn- und Dickfilmschaltungen. Die im Kombinat *Keramische Werke* Hermsdorf gefertigten *KME-3*-Bausteine sind ein Beispiel von IS in Dünnfilmtechnik. Sie sind *Hybride Schaltkreise*, d. h., sie benötigen zu ihrer Komplettierung noch von außen anzuschließende Bauelemente, speziell Transistoren, Induktivitäten und Kondensatoren, die etwas größer als 1 nF sind.

Die vergangenen Formen der IS (die man keinesfalls mit „altes Eisen" abtun sollte) wurden von den monolithischen IS abgelöst: Hier wurden bipolare Transistoren, Dioden, Widerstände und eventuell kleine Kondensatoren aus einem Stückchen monokristallinem Silizium gefertigt. Dabei fanden alle Technologien Anwendung, die bei der Fertigung von Planar-

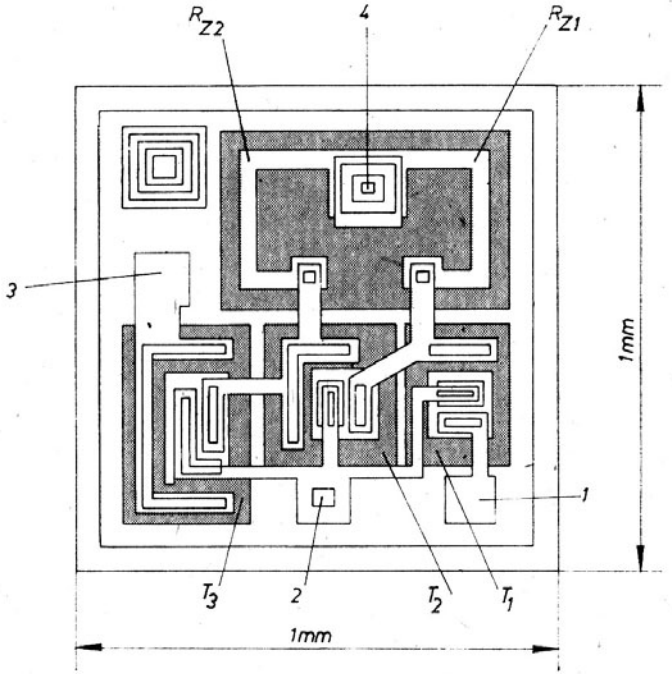


Bild 1.4 Struktur der Integrierten Schaltungen *MAA 115*, *MAA 125* und *MAA 145*

transistoren beherrscht werden müssen: Aufdampfen, Diffundieren, Abdecken mit einer „Maske", „Aufwachsen", Beizen usw. Eines der Merkmale der monolithischen Halbleiter-IS ist ihre Kleinheit. Während z. B. die Siebdruckschaltung mit den Flächen von der Größenordnung Dezimeter operierte, war für die Dünnfilmschaltung die cm-Größenordnung typisch. Hybride Halbleiterschaltungen arbeiten mit mm! Ein 3stufiger NF-Verstärker (*MAA 115*, *MAA 125*, *MAA 145*) ist auf einem Siliziumscheibchen (Chip) von etwa 1 mm² Fläche untergebracht (Bild 1.4)!

Die einzelnen Funktionselemente sind durch schmale Aluminiumleiterstreifen (25 μm) verbunden. Sie entstehen, indem auf den gesamten Chip Aluminium aufgedampft und das

„überflüssige" Material weggeätzt wird (vgl. die Herstellung einer Gedruckten Schaltung). Die Verbindung des Chips zum Sockel erfolgt durch Golddrähte. Die aktiven Verstärkerelemente (Transistoren) auf dem Chip werden nach den bekannten Techniken (Planarverfahren) befestigt.

Um die Herstellung derartiger IS wirtschaftlich zu halten, fertigt man meist Dutzende gleicher IS aus einer Scheibe monokristallines Silizium, wie es u. a. in dem Buch *abc von Elektronenröhre und Halbleiterbauelement*; Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1973, gezeigt wurde. Einzelheiten über die Fertigung von monolithischen Halbleiter-IS können nur in groben Zügen mitgeteilt werden. Die Herstellung von Verstärkerelementen (Transistoren) stellt dabei kein Problem dar, denn aus einer Transistortechnologie (Planar-Verfahren) wurde ja die Technologie der monolithischen IS entwickelt. Ähnlich verhält es sich auch mit anderen Halbleiterbauelementen. Kondensatoren werden in ähnlicher Weise gefertigt wie bei den Dünnfilm-IS vom Kombinat *Keramische Werke* Hermsdorf. Dabei muß man sich vergegenwärtigen, daß 1 mm^2 von etwa 200 ... 600 pF Kapazität benötigt wird. Daraus ergibt sich, daß sich größere Kondensatoren als etwa 1 nF mit den Monolith-IS (genau wie bei der Dünnfilmtechnik) nicht fertigen lassen. In den IS von TESLA, die Gegenstand dieser Broschüre sind, werden Kondensatoren grundsätzlich vermieden. Auch für Induktivitäten aller Art gilt das gleiche, was bei den Dünnfilm-IS gesagt wurde. Sie lassen sich (zur Zeit) noch nicht integrieren, sieht man von Induktivitäten im nH-Bereich ab.

Hingegen stellt man ohmsche Widerstände sehr einfach her. Durch die Dotierung eines Halbleitermaterials kann seine Leitfähigkeit leicht beeinflußt werden (Bild 1.5). Es stellt kein Problem dar, einen dünnen Streifen so dotiertes Material an passender Stelle in die IS einzufügen, wobei die Anschlüsse unbedingt sperrschichtfrei erfolgen müssen. Das Kontaktieren der Anschlüsse kann nur unter einem Mikroskop erfolgen, da die Verbindungsdrähte der Chips zu den Kontakten des IS-Gehäuses einen Durchmesser von etwa 25 μm haben.

Monolithische IS stellt TESLA in seinem Halbleiterbauele-

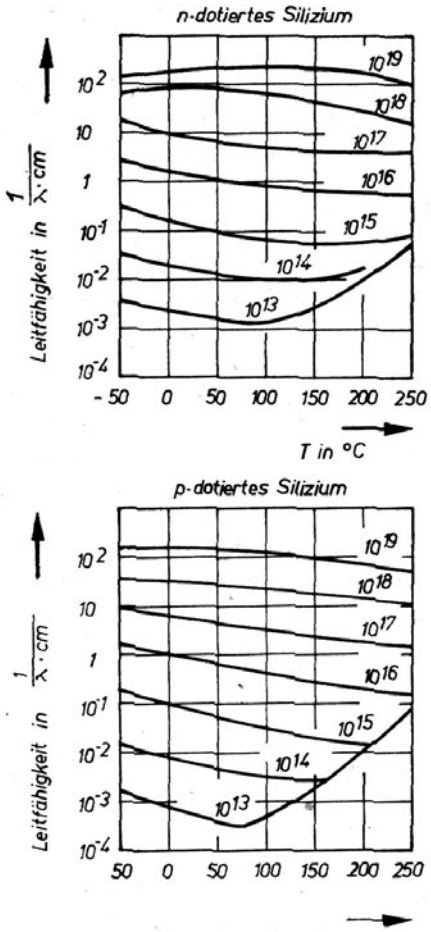


Bild 1.5 Einfluß der Dotierung auf die Leitfähigkeit von Silizium

mentewerk in *Rožnov* seit etwa 1967 her (!). Hierbei sind die auf den folgenden Seiten behandelten analogen IS nur ein Teil der IS von TESLA. Genau wie z. B. unser Halbleiterwerk stellt auch TESLA eine Vielfalt von digitalen IS her, die nicht in dieser Broschüre enthalten sind.

1.4. Stromlaufplan und Anschlüsse von IS

Der bisher ausschließlich an Schaltungen mit diskreten Bauelementen gewohnte Amateur kommt in Versuchung, diese in den Stromlaufplan einer Schaltung mit IS detailliert in einem „gestrichelten Kästchen" in den Gesamt-Stromlaufplan einzuzeichnen. Dies ist nicht nur mühsam, sondern auch überflüssig! Für den Anwender bestehen diese IS eben nicht aus einzelnen Bauelementen, sondern die IS selbst ist eine Art „Super-Bauelement", das bestimmte Funktionen ausübt. Wie sie diese Funktionen im einzelnen ausführt, wie ihr Innenaufbau beschaffen ist, interessiert zunächst gar nicht. Ein Beispiel: Wird eine Verstärker-IS in einer Gegensprechanlage eingesetzt, so ist sie nur als Funktion „Verstärker" interessant. Wieviel Stufen dieser Verstärker hat, ob in Eintakt- oder in Gegentaktschaltung, braucht nicht zu interessieren; denn die Schaltung liegt ja ohnehin fest und kann vom Anwender nicht geändert werden. Also genügt es, die IS als „schwarzen Kasten" (black box) mit den notwendigen Außenanschlüssen zu zeichnen. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen. Bestechend ist der Gedanke, den Sockel der betreffenden IS zu zeichnen, und die Anschlüsse mit den entsprechenden Leitungen des Gesamtgerätes zu verbinden. Das hat aber verschiedene Nachteile: Einmal ist die Zeichnung der Sockelschaltung u. U. kompliziert bzw. zeitraubend. Man denke hier nur an den Dual-in-line-Sockel mit 14 Anschlüssen oder den *TO-99*-Sockel mit seinen 8 Anschlüssen! (Es gibt wesentlich kompliziertere Sockel, wenn auch z. Z. nicht alle von TESLA-IS.) Dazu kommt, daß oft in der betreffenden Geräteschaltung gar nicht alle Anschlüsse der IS benötigt werden — wozu sie dann zeichnen? Sie könnten höchstens verwirren. Wenn z. B. zwischen der 2. und 3. Stufe einer IS ein Meßausgang an den Sockel geführt ist, interessiert dies den Anwender der Schaltung nicht, wenn er diesen Meßausgang-Anschluß gar nicht benötigt!

Zu diesen Gesichtspunkten des Anwenders kommt noch ein „zeichnerischer". Die „sockelgerechte" Zeichnung der IS macht meist viele Leitungskreuzungen bzw. Leitungsumwege (in der

Zeichnung des Gesamtstromlaufplanes) notwendig, die das Lesen der Zeichnung nur erschweren. Beispiel: Ein Ausgangsanschluß einer IS liegt direkt neben dessen Eingang. Aber hinter dem Ausgangsanschluß befinden sich (in unserem Beispiel) noch andere Anschlüsse, die im Gesamtstromlaufplan benötigt werden. Fazit: Leitungskreuzungen, Leitungsumwege, schwer zu lesende Zeichnung (siehe oben!). Wie einfach wäre die Zeichnung, wenn z. B. der Schaltungseingang auf der einen Seite (immer!), der Schaltungsausgang auf der anderen läge, die anderen Anschlüsse dort, wo sie logischerweise hingehören und wo sie der versierte Techniker erwartet!
Diesen Wünschen kommt die Darstellungsweise weitgehend entgegen, die TESLA für seine IS-Zeichnung verwendet. Die IS ist hier (in der Zeichnung des Gesamtstromlaufplanes) ein dreieckiger „Kasten", dessen Spitze meist nach rechts zeigt, jedenfalls in Richtung der Verstärkung, Demodulation usw. Links sind logischerweise der Eingang bzw. die Eingänge der IS, rechts (an der Spitze des Dreiecks) der Ausgang bzw. der Hauptausgang. Andere Anschlüsse, z. B. für die Stromversorgung, sind an den Seiten des Dreiecks. Dabei ist es logisch, den Anschluß für $-U_{Bat}$ nach unten zu legen, den Anschluß für $+U_{Bat}$ nach oben (Bild 1.6). Unverwechselbar wird diese zeichnerische Darstellung, wenn sich an den einzelnen Anschlüssen jeweils die Nummer des Sockelkontaktes befindet. Diese Art der Zeichnung von IS in einer Gesamtschaltung ist übrigens nicht alleiniges Privileg von TESLA. Die meisten einschlägigen

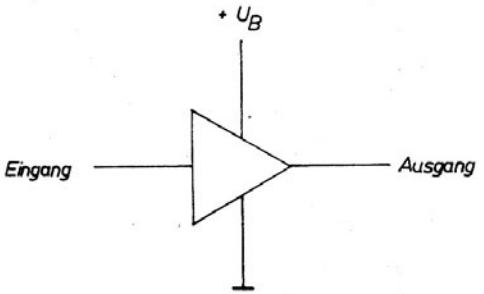


Bild 1.6 Prinzipielle Darstellungsweise der analogen Integrierten Schaltungen

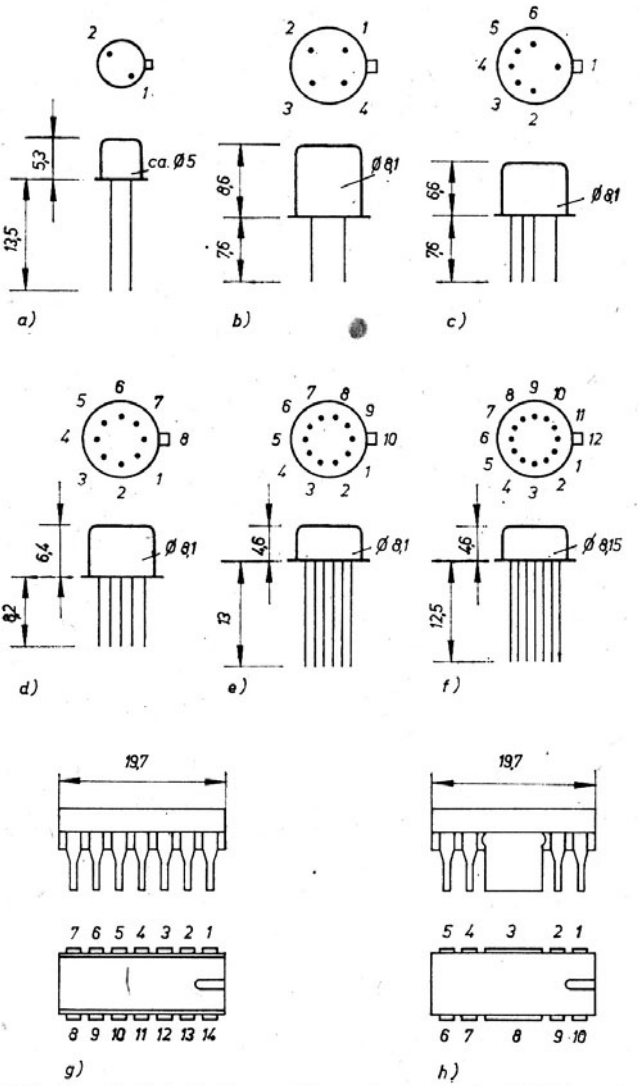


Bild 1.7 Sockelschaltungen der analogen IS von TESLA: a-2polig, Maße ähnlich *TO-18*; b-4polig, Maße ähnlich *TO-5*; c-6polig, Maße ähnlich *TO-5*; d-8polig, Maße ähnlich *TO-78*; e-10polig, Maße ähnlich *TO-100*; f-12polig, Maße ähnlich *TO-173*; g-14poliger Keramiksockel *(DIL-14)*; h-10poliger Sockel, ähnlich *TO 116*

Firmen der Welt benutzen diese Schreibweise (*Sescosem*, *Siemens*, *Intermetall* usw.), so daß die Kenntnis dieser Darstellungsweise allen Freunden der Elektronik zu empfehlen ist, die sich öfter mit IS beschäftigen.

Dazu muß man sich aber auf die Anschlußfolge (die Nummern) der Sockelkontakte einigen. Dieses ist im internationalen Maßstab der Fall. In Bild 1.7 sind die wichtigsten „Sockel" gezeigt. Eigentlich sind es keine richtigen Sockel, doch stammt diese Bezeichnung noch aus dem Elektronenröhren-Zeitalter (Elektronenröhren hatten früher meist regelrecht Sockel aus Kunststoff). Unter den vielen im internationalen Rahmen bekannt gewordenen IS-Sockel verwendet TESLA bis heute (1974) für seine analogen IS:

einen 2poligen Sockel mit den Abmessungen des Transistorsockels *TO-18* (Bild 1.7a);
einen 4poligen Sockel mit den Abmessungen des Transistorsockels *TO-5* (Bild 1.7b);
einen 6poligen Sockel mit den Abmessungen des Transistorsockels *TO-5* (Bild 1.7c);
einen 8poligen Sockel mit den Abmessungen ähnlich dem Transistorsockel *TO-78* bzw. *TO 99* (Bild 1.7d);
einen 10poligen Sockel mit den Abmessungen ähnlich dem Transistorsockel *TO-96* bzw. *TO-100* (Bild 1.7e);
einen 12poligen Sockel mit den Abmessungen ähnlich dem Transistorsockel *TO -173* (Bild 1.7f);
einen 14poligen IS-Sockel (dual in line), ähnlich *DIL-14* (Bild 1.7g);
einen 10poligen IS-Sockel (dual in line), ähnlich *TO-116* (Bild 1.7h).

Diese Sockel werden heute von fast allen IS-Herstellern verwendet.

In den Technischen Daten in Abschnitt 2. dieser Broschüre werden die Schaltungen der einzelnen IS angegeben, sowie auf das Bild des verwendeten Sockels verwiesen. Die Nummern an den Anschlüssen in der Zeichnung des Stromlaufplanes der jeweiligen IS beziehen sich auf die Anschlußnummer des Sockelkontaktes.

1.5. Allgemeines über Operationsverstärker

Anders als die herkömmlichen analogen IS ist der *Operationsverstärker*. Es ist kein NF- oder ZF-Verstärker, kein Spannungsregler, kein Stereodecoder.

Man kann ihn auch „Rechenverstärker" nennen (Operation ist hier im Sinne von Rechnungsgang aufzufassen). Er findet in Computern Anwendung für verschiedene mathematische Aufgaben (Addition/Subtraktion, Multiplikation/Division, Integration/Differenzierung usw.). Aber er kann auch eine Reihe Aufgaben in der „Analogen" Elektronik erfüllen wie Kippgenerator, Multivibrator, Konstantstromquelle, Komparator, NF-Verstärker usw.

Die wichtigsten Merkmale des Operationsverstärkers sind:

— Gleichstromkopplung.
— große Leerlauf-Spannungsverstärkung (Größenordnung $10^4 \ldots 10^6$)
— meist dimensioniert für Dauerkurzschluß am Ausgang
— großer Eingangswiderstand (theoretisch $\rightarrow \infty$)
— kleiner Ausgangswiderstand (theoretisch $\rightarrow 0$)

Die große Leerlauf-Spannungsverstärkung macht es nötig, die Verstärker stark gegenzukoppeln, damit ein stabiles Arbeiten mit ihnen möglich ist. Im Zusammenhang mit Operationsverstärkern tauchen einige Begriffe auf, die manchem Leser unbekannt sind:

Eingangs-Null-Spannung (Eingangs-Offset-Spannung): Dies ist diejenige Spannung zwischen beiden Eingängen, damit die Ausgangsspannung Null ist. Dies gilt streng genommen nur für Generatorwiderstand Null.

Eingangs-Null-Strom (Eingangs-Offset-Strom): Dies ist der Strom zur Eingangs-Null-Spannung.

Leerlauf-Spannungsverstärkung ist die Spannungsverstärkung ohne Gegenkopplung.

Das Verhältnis der Ausgangsspannung zu der an beiden parallel geschalteten Eingängen wirkenden Eingangsspannung nennt man *Gleichtaktverstärkung*.

Gleichtaktunterdrückung (meist in dB) gibt an, um wieviel ein Gleichtaktsignal (gleichphasig) gegenüber einem Gegen-

taktsignal (gegenphasig) am Ausgang unterdrückt erscheint. *Invertierender Eingang* bedeutet, daß die Phase des Ausgangssignals gegenüber dem Signal an diesem Eingang um 180° gedreht (umgepolt) erscheint.

Nichtinvertierender Eingang bedeutet, daß das Ausgangssignal gleiche Phasenlage hat wie das Signal an diesem Eingang. Eingangswiderstand ist der Widerstand zwischen invertierendem und nichtinvertierendem Eingang.

Die Betriebsspannung von Operationsverstärkern wird meist mit $\pm$ U angegeben. Dies bedeutet nicht, daß diese Spannung beliebig gepolt sein darf! Vielmehr muß an eine bestimmte Klemme (meist die Kollektoren der Verstärkerelemente) eine positive Spannung gelegt werden, eine gleich große, aber entgegengesetzt gepolte Spannung an eine andere Klemme (meist die Emitter der Verstärkerelemente). Das Gehäuse des Verstärkers hat die Spannung 0, was dadurch (aber durchaus nicht immer!) zum Ausdruck kommen kann, daß das Gehäuse (die „Masse") des Operationsverstärkers mit der Masse des Gerätes verbunden ist. *Achtung!* Gelegentlich ist ein Spannungsanschluß mit dem Gehäuse des Operationsverstärkers verbunden. Eine Verbindung des Gehäuses zur Masse des Gesamtgerätes würde diese Spannung u. U. kurzschließen!

Die Grundschaltungen des Operationsverstärkers — gleich welchen Typs — sind:

1. Invertierender Verstärker (Bild 1.8a)

$$U_{aus} = -\frac{R_F}{R_1} \cdot U_{ein}$$

2. Nichtinvertierender Verstärker (Bild 8.1b)

$$U_{aus} = \frac{R_1 + R_F}{R_1} \cdot U_{ein}$$

3. Summierender Verstärker (Bild 1.8c)

$$U_{aus} = -R_F \left(\frac{U_{ein\,1}}{R_1} + \frac{U_{ein\,2}}{R_2} + \ldots + \frac{U_{ein\,n}}{R_n} \right)$$

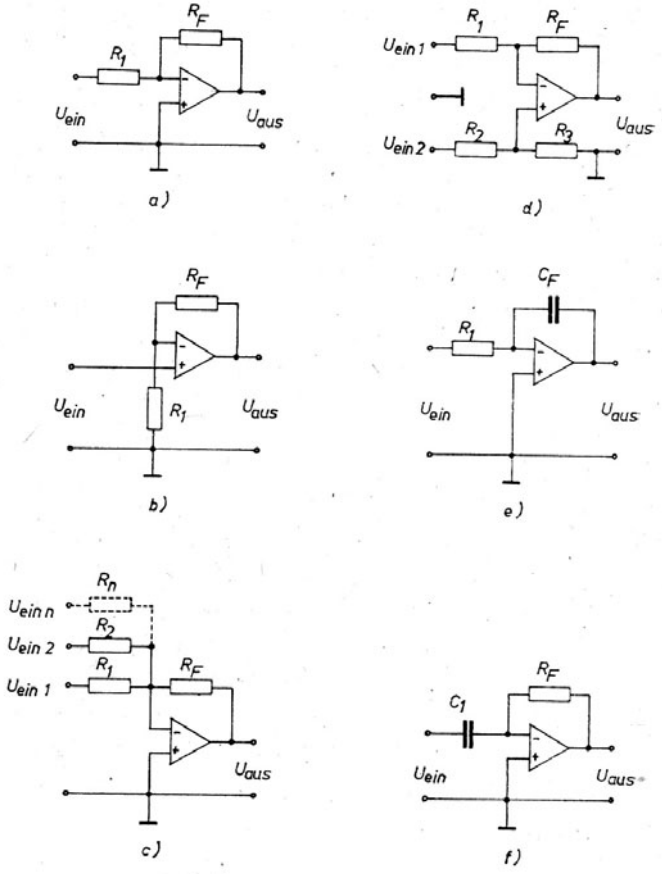


Bild 1.8 Grundschaltungen des Operationsverstärkers: a-invertierender Verstärker; b-nichtinvertierender Verstärker; c-summierender Verstärker; d-Differenzverstärker; e-integrierender Verstärker; f-differenzierender Verstärker

4. Differenzverstärker (Bild 1.8d)

$$U_{aus} = \frac{R_3}{R_1} \cdot \left(\frac{R_1 + R_F}{R_2 + R_3}\right) \cdot U_{ein\,2} - \frac{R_F}{R_1} \cdot U_{ein\,1}$$

5. Integrierender Verstärker (Bild 1.8e)

$$U_{aus} = -\frac{1}{R_1 \cdot C_F} \int u_{ein}\,dt$$

6. Differenzierender Verstärker (Bild 1.8f)

$$U_{aus} = -R_F \cdot C_1 \cdot \frac{du_{ein}}{dt}$$

Für das nähere Studium der Eigenschaften, Wirkungsweise und Möglichkeiten des Operationsverstärkers (er wird im Rahmen dieser Broschüre nur gestreift) wird auf die Artikelfolge *Operationsverstärkertechnik* von *Prochnow* in der Zeitschrift *radio fernsehen elektronik* [Jahrgang 20 (1971)] hingewiesen.

Ohne spezielle Anwendungsbeispiele mit TESLA-Operationsverstärkern vorwegnehmen zu wollen — solche Beispiele werden bei der Besprechung der einzelnen IS-Typen gezeigt — soll hier doch schon auf allgemeingültige und wichtige Schaltungsmöglichkeiten mit Operationsverstärkern hingewiesen werden. Bild 1.9 zeigt einen aktiven Tiefpaßfilter (die Dimensionierungen des Beispiels gelten für $f_g = 10$ Hz), Bild 1.10 einen aktiven Hochpaßfilter (die Dimensionierung des Beispiels gilt für $f_g = 100$ Hz). Es empfiehlt sich, für C_1 und C_2 in den Schaltungen nach Bild 1.9 und Bild 1.10 nur Konden

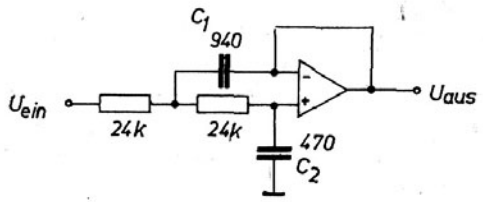


Bild 1.9 Stromlaufplan eines aktiven Tiefpaßfilters mit Operationsverstärker

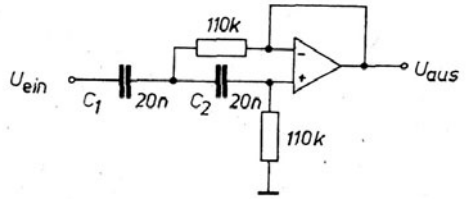


Bild 1.10 Stromlaufplan eines aktiven Hochpaßfilters mit Operationsverstärker

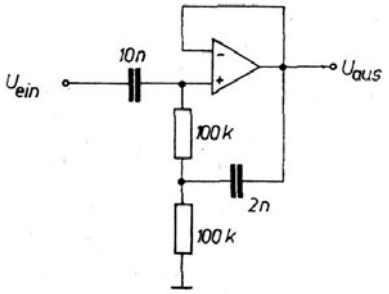


Bild 1.11 Operationsverstärker als Wechselstromverstärker mit sehr großem Eingangswiderstand

satoren mit guter Temperaturstabilität zu verwenden. In Bild 1.11 schließlich wird ein Wechselstromverstärker mit großem Eingangswiderstand gezeigt. Weitere Prinzipschaltungen finden sich in der angeführten Literatur, es würde den Rahmen dieser Broschüre sprengen, sie alle zu zeigen: Befaßt sich diese Broschüre doch mit allen analogen IS von TESLA, nicht nur mit den Operationsverstärkern!

Bei der Betrachtung der (inneren) Schaltung der Operationsverstärker fällt eine Besonderheit auf, die bei den anderen analogen IS nicht vorhanden ist:

Es gibt neben npn- auch pnp-Verstärkerelemente (Transistoren).

Und noch eine Bemerkung zu einer Benennung, die vielleicht einigen Lesern Kopfzerbrechen verursacht, weil ihnen „Operationsverstärker" ein neuer Begriff ist: die mit *Frequenzgangkompensation* bezeichneten Anschlußklemmen. Diese Fre-

quenzgangkompensation ist eine frequenzabhängige Gegenkopplung. Bei entsprechender Dimensionierung bewirkt sie eine „Begradigung" der Amplituden-Frequenzcharakteristik („Frequenzgang") des Verstärkers.

2. Integrierte Schaltungen

2.1. NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0402*

Mit Integrierten Schaltungen lassen sich nicht nur Anfangsverstärkerstufen realisieren, sondern — das ist weniger bekannt — auch Kleinleistungsstufen bzw. -verstärker. Allerdings spielt hier die Abführung der Wärme eine große Rolle, weshalb die in IS umgesetzte Leistung in erster Linie eine Frage ihrer Abmessungen ist. Und diese kann man nicht beliebig steigern.
Der erste Kleinleistungsverstärker von TESLA war der Typ *MA 0402*. (Der *MA 0402* wird in neuen TESLA-Katalogen nicht mehr aufgeführt.) Er war für die Ausgangsleistungen bis 1 W ausgelegt. Weitere wichtige Daten: U_e für Vollaussteuerung 250 mV; Ruhestrom 50 mA; maximale Verlustleistung 2 W.

2.2. NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0403*

Die Weiterentwicklung des *MA 0402* führte zum *MA 0403*, dessen Schaltung in Bild 2.1 zu sehen ist. Er ist ein Kleinleistungsverstärker (14 Verstärkerelemente) mit maximal 4 W Ausgangsleistung bei k = 10 %. Die Verlustleistung bis 3,5 W erforderte eine Spezialausführung für das Gehäuse (Bild 1.7h). Die Anschlußbelegung:

Kontakt 1	+ U_B
Kontakt 2	+ U_B der Vorstufen (hier ist eventuell ein Entkoppelkondensator gegen —U_B anzuschließen)
Kontakt 3	— U_B
Kontakt 4	Eingang II (geringe Empfindlichkeit)
Kontakt 5	Ausgang des Vorverstärkers
Kontakt 6	Eingang I (große Empfindlichkeit)

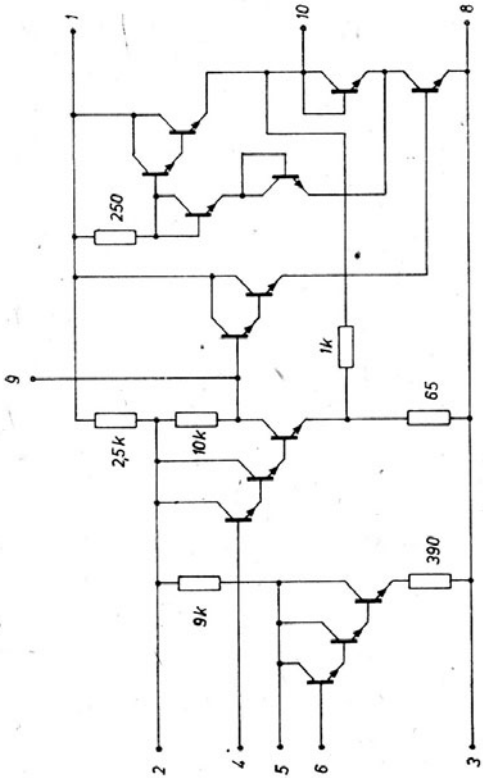


Bild 2.1 Stromlaufplan der IS *MA 0403*

Kontakt 7 Anschluß zur Frequenzgangkorrektur (hier wird meist ein kleiner Kondensator gegen Kontakt 10 angeschlossen)

Kontakt 8 $-U_B$

Kontakt 9 nicht belegt

Kontakt 10 Ausgang des Leistungsverstärkers

Einige Grenzwerte des *MA 0403*:
Betriebsspannung (am Anschluß 1): 20 V; Spitzenausgangsstrom: 1,25 A; Verlustleistung bei einer Kühlfläche aus 1-mm-Kupferblech von 40 × 50 mm²: 3,5 W bei Umgebungstemperaturen bis 30 °C.

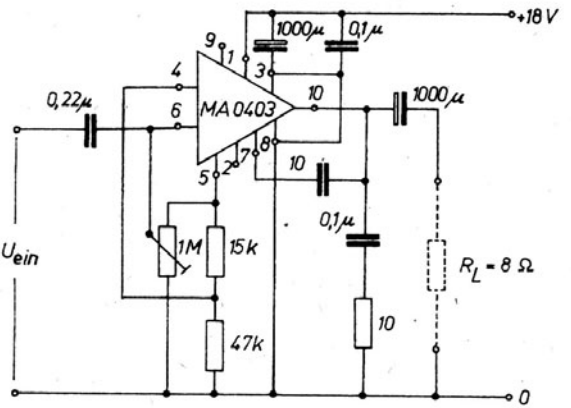


Bild 2.2 Kompletter NF-Leistungsverstärker mit der IS *MA 0403*

Bild 2.2 zeigt den Anschluß des *MA 0403* als NF-Verstärker. Hierbei beträgt die Eingangsspannung am Anschluß 6 für eine Ausgangsspannung von 4,5 V an 8 Ω Schwingspulenwiderstand 26 ... 50 mV. (Die Ausgangsspannung von 4,5 V entspricht etwa einer Ausgangsleistung von 2,5 W.) Der Ruhestrom ist 24 ... 50 mA bei 18 V Betriebsspannung, die nichtlinearen Verzerrungen bei der genannten Aussteuerung (4,5 V) sind kleiner als 5 %, das Signal/Rausch-Verhältnis $>$ 70 dB. In Bild 2.3 wird der Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung bei 1 kHz gezeigt, in Bild 2.4 die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung. Bereits aus den bisherigen Ausführungen über den *MA 0403* und aus Bild 2.1 geht hervor, daß es zwei grundsätzlich verschiedene Arten gibt, den Kleinleistungsverstärker zu betreiben: Je nachdem, ob man ihn am Anschluß 4 oder Anschluß 6 ansteuert, hat er entweder einen hochohmigen Eingang mit großer Empfindlichkeit oder eine mittlere Empfindlichkeit bei mittlerem Eingangswiderstand. Dies liegt daran, daß die Eingangsspannung beim Anschluß 6 (Eingang I) über den dreistufigen Vorverstärker geht, beim Anschluß 4 (Eingang II) jedoch nicht.

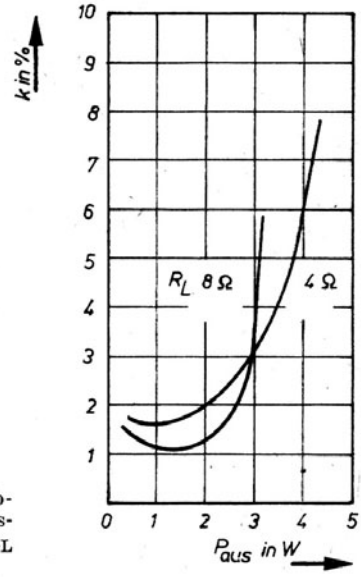


Bild 2.3
Klirrfaktor des *MA 0403* in Abhängigkeit von der Ausgangsleistung, Abschlußwiderstand R_L als Parameter

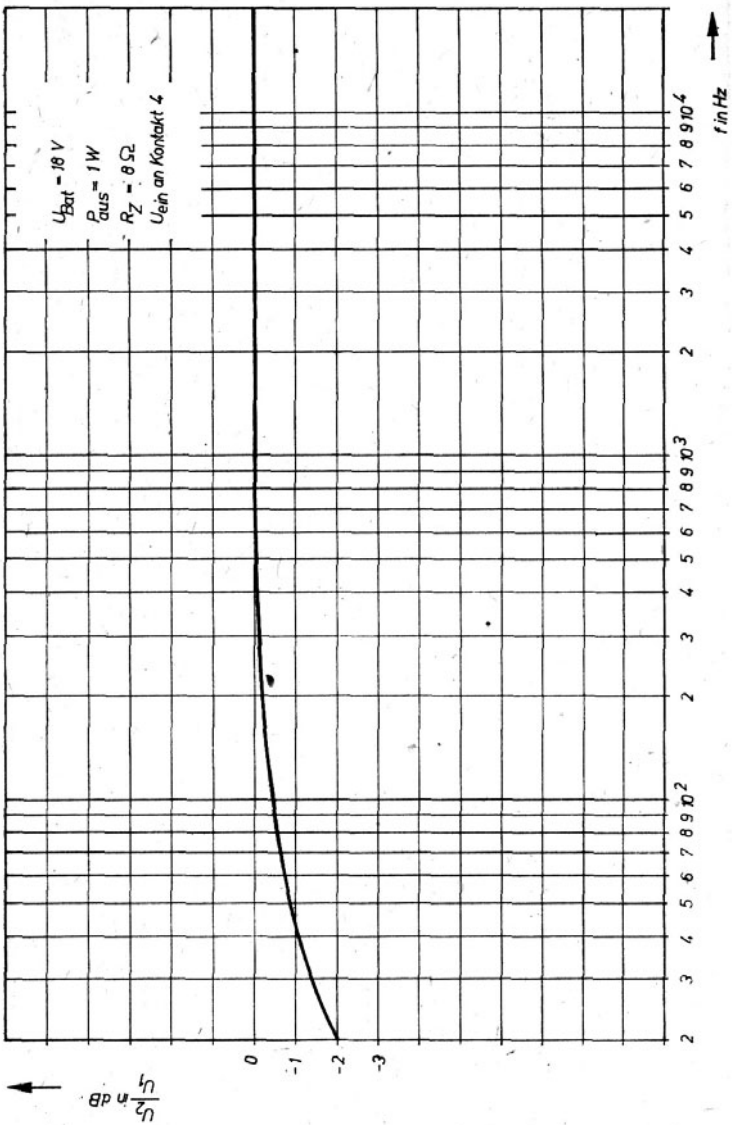


Bild 2.4 Verstärkung des *MA 0403* in Abhängigkeit von der Frequenz

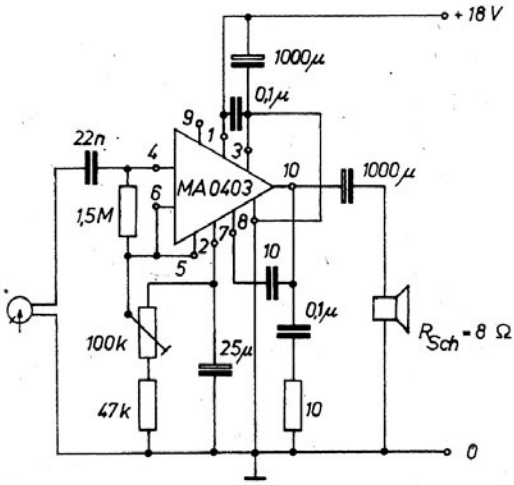


Bild 2.5 **Kleinleistungsverstärker zur Schallplattenwiedergabe mit dem *MA 0403***

Bild 2.5 zeigt einen kompletten Leistungsverstärker mit der IS *MA 0403* zur Wiedergabe von Schallplatten. (Hier wird der Eingang 4 benutzt.) TESLA empfiehlt, die IS auf 1 mm starkes Cu-Blech mit etwa 40 cm² zu montieren. Hier einige mit dem Verstärker erreichten Technischen Daten:

Betriebsspannung	18 V
Ruhestrom	25 mA
Abschlußwiderstand (Schwingspule)	8 Ω
3-dB-Grenzfrequenzen	40 Hz, 80 kHz
Eingangsspannung für Vollaussteuerung	280 mV
Ausgangsleistung bei $k \leqq 5$ %	2,5 W

Ein weiteres Anwendungsbeispiel mit dem *MA 0403* — diesmal aus der Funkamateurpraxis — ist in Bild 2.6 zu sehen. Hier wird der Kleinleistungsverstärker als „Modulationsverstärker" in einen Fuchsjagdsender eingesetzt. Seine Ausgangsleistung moduliert einen Transistor *KT 904* (PA-Stufe des Senders) für die Betriebsart A 2 oder A 3.

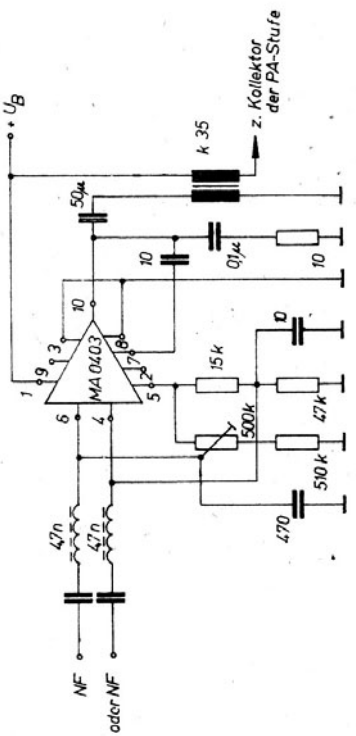


Bild 2.6 Stromlaufplan eines Modulationsverstärkers für Fuchsjagdsender mit dem *MA 0403*

2.3. NF-Kleinleistungsverstärker *MA 0403 A*

Die IS *MA 0403 A* ist identisch dem *MA 0403* bis auf eine Ausnahme: Wie aus Bild 2.7 hervorgeht, ist beim *MA 0403 A* die Anschlußfolge etwas anders: Der Ausgang Vorverstärker/Eingang Treiberstufe ist hier an den Anschluß 9 gelegt (beim *MA 0403* war dies der Anschluß 7).

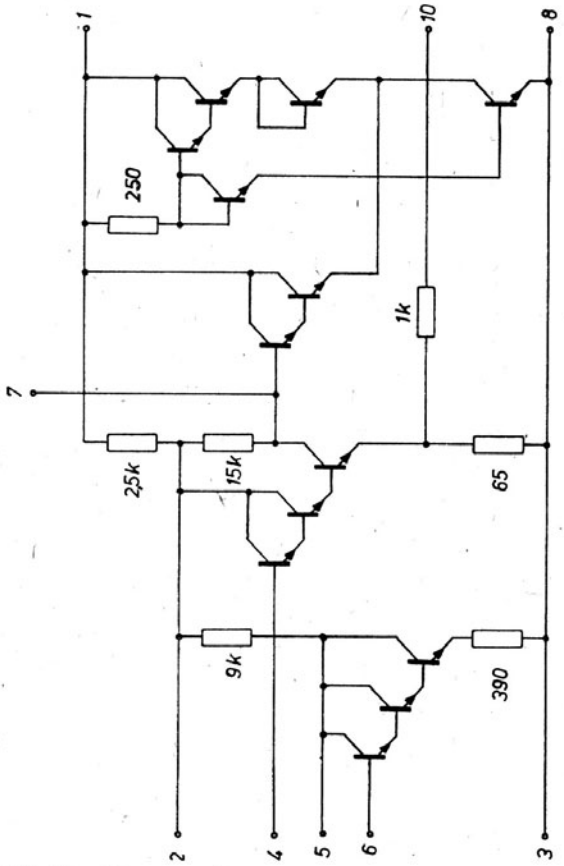


Bild 2.7 Stromlaufplan der IS *MA 0403 A*

2.4. NF-Verstärker *MAA 115*

Der *MAA 115* ist die älteste IS von TESLA. Es handelt sich bei ihm um einen 3stufigen Verstärker (Stromlaufplan in Bild 2.8) im *TO-5*-Gehäuse. Folgende Anschlüsse sind an den Sockel geführt:

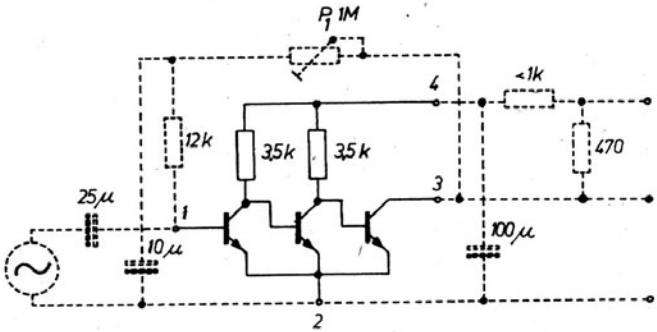


Bild 2.8 Stromlaufplan des *MAA 115* (die gestrichelt gezeichneten Bauelemente sind von außen anzuschließen)

Kontakt 1	Verstärkereingang
Kontakt 2	$-U_B$, OV
Kontakt 3	Verstärkerausgang
Kontakt 4	$+U_B$

Zur Realisierung eines kompletten Verstärkers muß lediglich der Außenwiderstand der 3. Stufe (zwischen den Kontakten 3 und $+U_B$) und einige Bauelemente zur Siebung und Erzeugung der Basisvorspannung der 1. Stufe (Kontakt 1) hinzugefügt werden. In Bild 2.8 sind dies die gestrichelt gezeichneten Bauelemente.
Folgende Grenzwerte werden von TESLA für den *MAA 115* genannt:
$U_{4/2} = U_{3/2} = 4$ V; $I_2 = 50$ mA; $R_{thjU} = 0{,}33$ grd/mW bzw. $P_{v\,max} = 300$ mW bei maximal 45 °C Umgebungstemperatur. Bei 1,3 V Betriebsspannung, Außenwiderstand = Generatorwiderstand = 470 Ω, 0,3 V Ausgangsspannung und f = 1 kHz ist die Verstärkung > 70 dB, der Klirrfaktor < 10 %, und die Rauschspannung beträgt 5 µV im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz. Die 3-dB-Grenzfrequenzen liegen bei 20 Hz und 20 kHz. Die Sockelschaltung schließlich (sie gilt ebenfalls für *MAA 125* und *MAA 145*) ist in Bild 1.7b zu sehen. Der *MAA 115* entspricht ungefähr dem *TAA 131* von *Siemens*. Ein Beispiel, wie man mit 2 *MAA 115* und 2 Halbleiterdioden einen

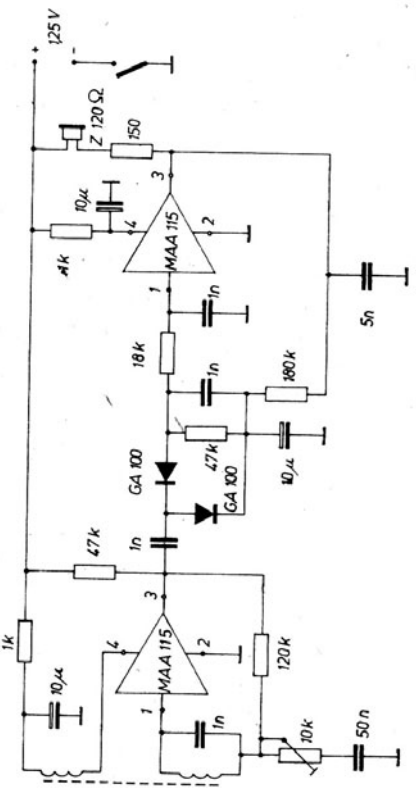


Bild 2.9 Stromlaufplan eines Miniatur-Rundfunkempfängers mit 2 Integrierten Schaltungen *MAA 115*

kleinen Rundfunkempfänger aufbauen kann, ist im Stromlaufplan Bild 2.9 zu sehen. Je eine IS dient hier als aperiodischer HF-Verstärker, aber auch als NF-Verstärker. Als Lautstärkeregelung wird eine veränderliche Gegenkopplung (10-kΩ-Potentiometer) verwendet. Dadurch wird ein „Zustopfen" der 1. IS durch Übersteuerung beim Empfang starker Sender verhindert.

2.5. NF-Verstärker *MAA 125*

Der *MAA 125* unterscheidet sich nur durch einige Daten vom *MAA 115*. Der innere Aufbau, die Anschlußbelegungen und die Sockelschaltung beider IS sind gleich.
Der einzige unterschiedliche Grenzwert: $U_{4/2} = U_{3/2} = 7$ V. Bei 7 V Betriebsspannung, Außenwiderstand = Generatorwiderstand = 470 Ω, 2,1 V Ausgangsspannung und f = 1 kHz ist die Verstärkung 70 ... 75 dB, der Klirrfaktor < 1,5 %, der Eingangswiderstand > 3 kΩ und die Rauschspannung 2 ... 5 μV im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz. Bei f = 1 MHz beträgt die Verstärkung 54 ... 59 dB.
Die Abhängigkeit der Verstärkung bei hohen Frequenzen ist in Bild 2.10 zu sehen (eine untere Grenzfrequenz der Schaltung gibt es nicht). Dieses Diagramm gilt übrigens auch für die nachfolgend behandelte IS *MAA 145*.
In bezug auf den Aufbau gilt wieder Bild 2.8.
In der Schaltung und seinen Technischen Daten (nicht in bezug auf die Sockelschaltung!) ist der *MAA 125* dem *TAA 141* von *Siemens* ähnlich.
Mit der IS *MAA 125* wurde einer der ersten industriell hergestellten Rundfunkempfänger mit IS in der ČSSR ausgerüstet (*IN 70* von TESLA). Bild 2.11 zeigt seine Schaltung. Der *MAA 125* fungiert hier sowohl als ZF-Verstärker für 455 kHz als auch als NF-Vorverstärker. Zu beachten ist auch die ALR (Automatische Lautstärkeregelung), die der *MAA 125* einschließt: Dem Eingang der IS (der Basis des 1. Verstärkerelementes) wird eine negative Regelspannung zugeführt.
Wie mit der 3stufigen IS *MAA 125* oder *MAA 115* ein einfacher Schwerhörigenverstärker aufgebaut werden kann, ist in Bild 2.12 zu sehen. Das Mikrofon ist entweder ein Kristallmikrofon, der Hörer vom Kristalltyp (Bild 2.12 b) oder ein Tauchspulmikrofon bzw. ein dynamischer Ohrhörer (Bild 2.12a). An P_1 wird die Gegenkopplung und damit die Verstärkung eingestellt. Man beachte die niedrige Speisespannung, die entweder von einem Trockenelement (Mono-, Baby- oder Gnomzelle) oder einem 2-v-Trockenakkumulator geliefert wird.

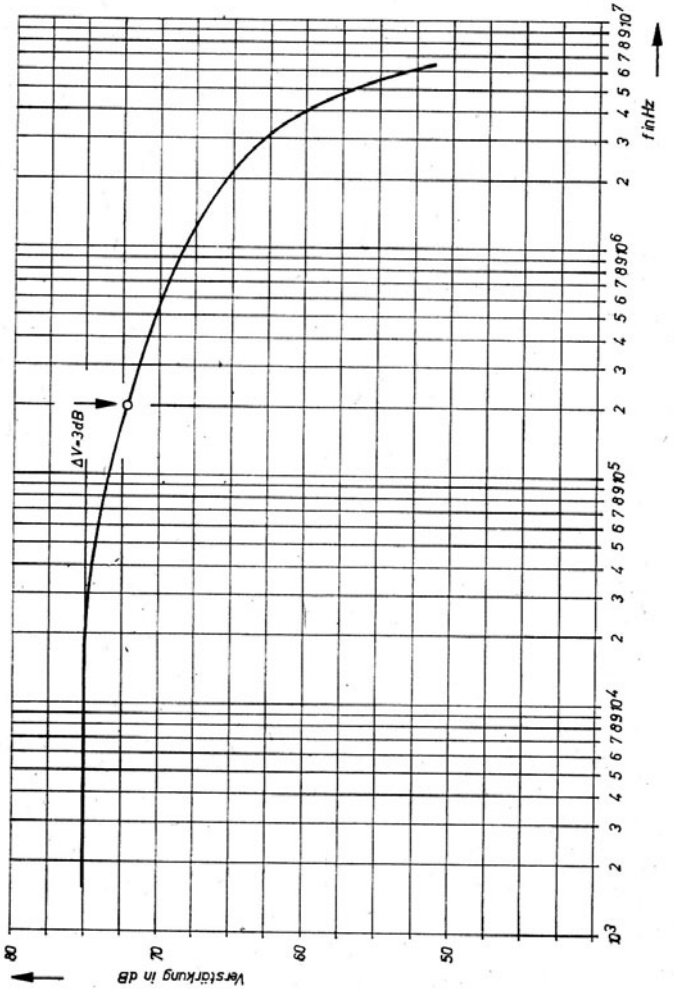


Bild 2.10 Abhängigkeit der Verstärkung von der Frequenz bei dem *MAA 125*

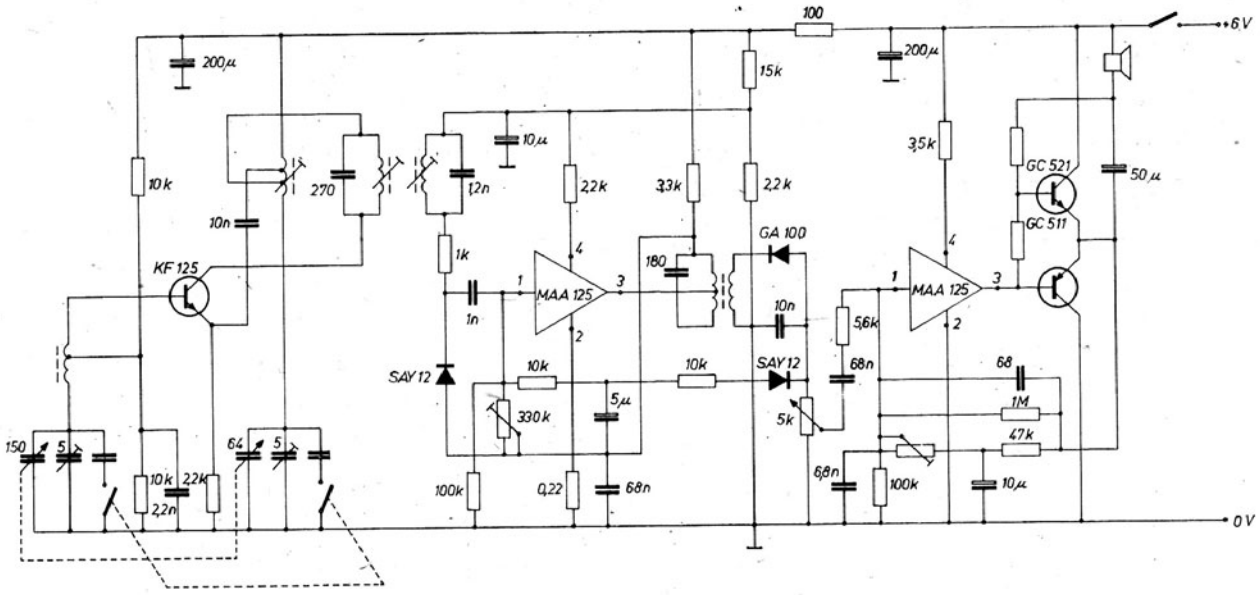


Bild 2.11 Stromlaufplan des Rundfunkempfängers *IN 70* von TESLA mit 2 × *MAA 125*

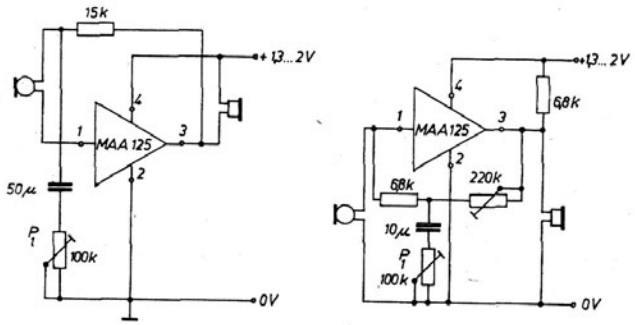


Bild 2.12 Einfacher Schwerhörigenverstärker mit *MAA 115* oder *MAA 125*: a — mit Kristallmikrofon, b — mit Tauchspulmikrofon

Ein Stromlaufplan (Bild 2.13) für ein Prüfgerät von Transistoren soll die Anwendungsmöglichkeiten dieser IS beenden. Ausgehend davon, daß der Stromverstärkungsfaktor eines Transistors mit großer Genauigkeit $0{,}16 \cdot R_b$ ist (R_b = Basiswiderstand der Schaltung), kann man den Regelwiderstand für R_b direkt in Einheiten des Stromverstärkungsfaktors h_{21e} eichen. Eine Wertetafel sieht dann etwa so aus:

B	R_b in kΩ	B	R_b in kΩ
10	1,6	100	16
20	3,16	200	31,6
50	7,9	500	79

Es fließt also bei dem eingestellten R_b ein bestimmter Gleichstrom durch den Kollektor des zu messenden Transistors. Dieser zunächst unbekannte Gleichstrom wird nun durch einen anderen entgegengesetzten Strom kompensiert: den Kollektorstrom des Hilfstransistors T (mit möglichst großem h_{21e}). Dieser wird an P_1 so eingestellt, daß er gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet ist wie der Kollektorstrom des zu messenden Transistors. In der Praxis wird diese Eichung einmal durchgeführt — sie stimmt dann für Transistoren aller Stromverstärkungsfaktoren.

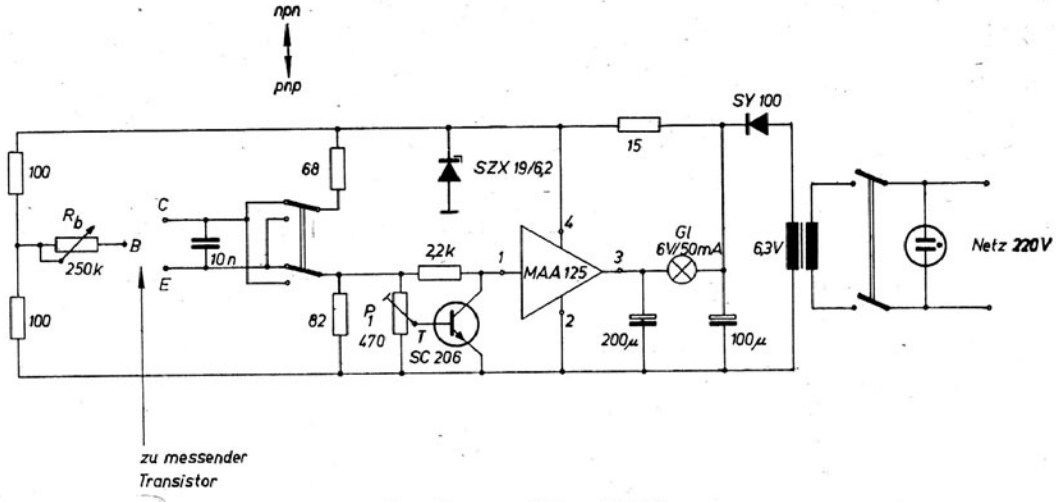


Bild 2.13 Stromlaufplan eines Transistor-Stromverstärkungs-Meßgerätes mit *MAA 125*

Die Messung geht folgendermaßen vor sich. Nach Wahl der entsprechenden Polarität des zu messenden Transistors (pnp oder npn) wird R_b so verstellt, daß die Glühlampe Gl am schwächsten brennt. (Theoretisch muß sie sogar bei einem bestimmten Wert von R_b erlöschen.) Dieses sehr scharfe Minimum entspricht einer ganz bestimmten Eichung des Reglers R_b, d. h. einem bestimmten Stromverstärkungsfaktor h_{21e}. Das kleine Gerät arbeitet äußerst zuverlässig und liefert erstaunlich genaue Meßergebnisse.

2.6. NF-Verstärker *MAA 145*

Für den *MAA 145* gilt in bezug auf Aufbau, Anschlußbelegung und Sockelschaltung das gleiche wie für den *MAA 125*. Einzig folgende Werte sind abweichend: $U_{4/2} = U_{3/2} = 12$ V; bei 12 V Betriebsspannung, Generator- und Abschlußwiderstand je 470 Ω, 3,6 V Ausgangsspannung und f = 1 kHz ist die Verstärkung 70 ... 75 dB, bei 1,7 V Ausgangsspannung und f = 1 MHz beträgt sie 54 ... 59 dB. Der Eingangswiderstand beträgt 2 kΩ (bei 1 kHz) und die Rauschspannung 2 ... 5 μV im Frequenzbereich 40 Hz ... 15 kHz.
In bezug auf Schaltung und Anschlüsse gilt auch hier Bild 2.8. Die maximale Ausgangsspannung in Abhängigkeit von

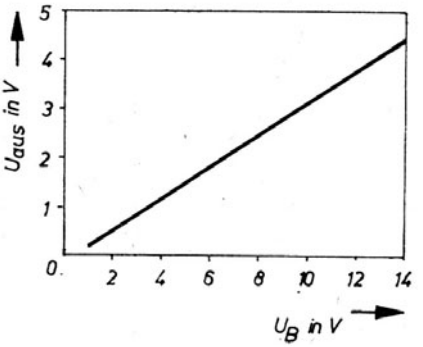


Bild 2.14 Maximale Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Betriebsspannung bei dem *MAA 145*

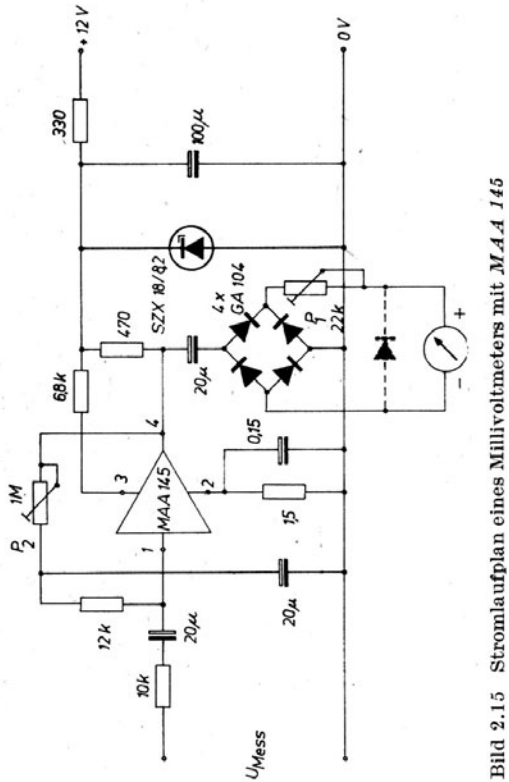


Bild 2.15 Stromlaufplan eines Millivoltmeters mit *MAA 145*

der Betriebsspannung U_B bei k = 1 %, R_Z = 470 Ω und f = 1 kHz zeigt Bild 2.14, das übrigens auch für den *MAA 125* gilt. In Bild 2.15 ist ein Anwendungsbeispiel mit dem *MAA 145* zu sehen: Es zeigt den Stromlaufplan eines Millivoltmeters (10 mV für Vollausschlag) für den Frequenzbereich 20 Hz ... 1500 kHz. Das Meßinstrument ist ein 100-µA-Drehspulinstrument. Mit P_1 (22 kΩ) wird das Gerät geeicht. Grob eingestellt wird die Verstärkung an P_2.

Die Schaltung geht auf einen Vorschlag von TESLA Rožnov zurück und wurde (bis auf den *MAA 145*) auf unsere Bauelemente abgewandelt.

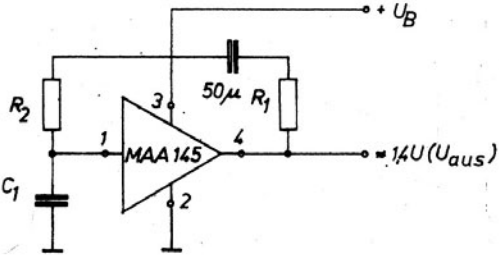


Bild 2.16 Astabiler Multivibrator mit *MAA 145*

Die (nicht näher bezeichnete) Diode parallel dem Meßinstrument soll die Einschwingvorgänge des Meßinstrumentes (eventuell) dämpfen. Für die Anzeige ist sie ohne Funktion, da sie für die Anzeigespannung in Sperrichtung gepolt ist. Ihr Typ ist deshalb völlig unkritisch, verlangt wird nur von dieser Diode ein möglichst großer Sperrwiderstand und ein möglichst kleiner Durchlaßwiderstand (z. B. *GA 102*).
Die Verwendung der IS *MAA 145* als astabiler Multivibrator zeigt Bild 2.16. Im Mustergerät war $R_1 = 7{,}5\ k\Omega$, $C_1 = 10\ \mu F$ und $R_2 = 500\ k\Omega$. Je nach Wert der Spannung U_B (4 ... 12 V) betrug die Frequenz der erzeugten Schwingung 1,5 ... 4 kHz.

2.7. NF-Verstärker *MAA 225*

Der *MAA 225* ist insofern verschieden von den bisher in dieser Broschüre behandelten IS aufgebaut, als hier die Emitter der einzelnen Verstärkerstufen getrennt voneinander an den Sokkel geführt sind (Bild 2.17). Der 6polige Sockel ist in Bild 1.7c zu sehen. Dies ermöglicht manche Besonderheit in der Anwendung des *MAA 225* (Gegenkopplung usw.).
Die Grenzwerte: $U_B = 1 \ldots 7$ V; $U_{2/3} = 2$ V; $U_{6/5} = 2$ V; $I_2 = 40$ mA; $I_4 = I_6 = 5$ mA; $R_{thjU} = 0{,}3$ grd/mW bzw. $P_{v\,max} = 300$ mW bei Umgebungstemperaturen bis 45 °C. Bei 7 V Betriebsspannung; 2,1 V Ausgangsspannung; R_Z (Abschlußwiderstand) = 470 Ω und R_G (Generatorwiderstand) = 1 kΩ beträgt die Verstärkung bei f = 1 kHz 78 ... 84 dB

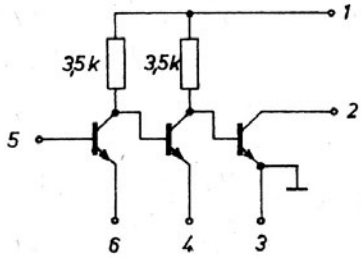


Bild 2.17
Stromlaufplan der Integrierten Schaltung *MAA 225*

und bei f = 1 MHz 60 ... 70 dB. Die maximale Ausgangsspannung bei 1 MHz beträgt 1,7 V. Der Klirrfaktor bei 1 kHz ist < 10 % und der Eingangswiderstand $> 500\,\Omega$.
In Bild 2.18 ist die Abhängigkeit der Verstärkung von der oberen Grenzfrequenz zu sehen. Dieses Bild gilt auch für den im folgenden behandelten *MAA 245*.
Ein Anwendungsbeispiel für den in der Impulstechnik oft verwendeten *MAA 225* ist in Bild 2.19 zu sehen: Es zeigt den Stromlaufplan eines monostabilen Multivibrators. Die Impulsdauer t_i kann mit $R_1 + P_1$ und C_2 verändert werden, sie liegt bei entsprechender Dimensionierung unter 1 μs. Die Berechnung von t_i erfolgt nach der Gleichung
$t_i = \tau \cdot 6 \cdot 10^{-2}$,

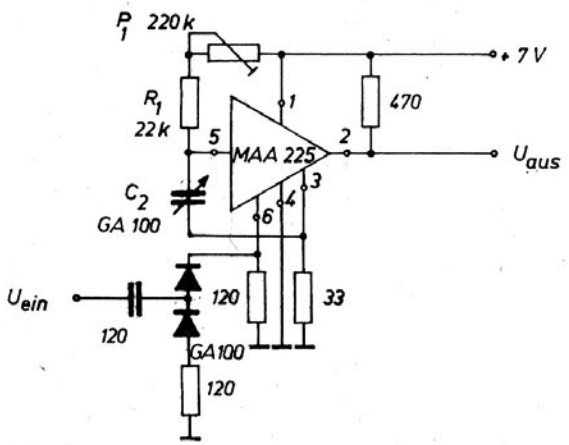


Bild 2.19 Stromlaufplan eines monostabilen Multivibrators mit dem *MAA 225*

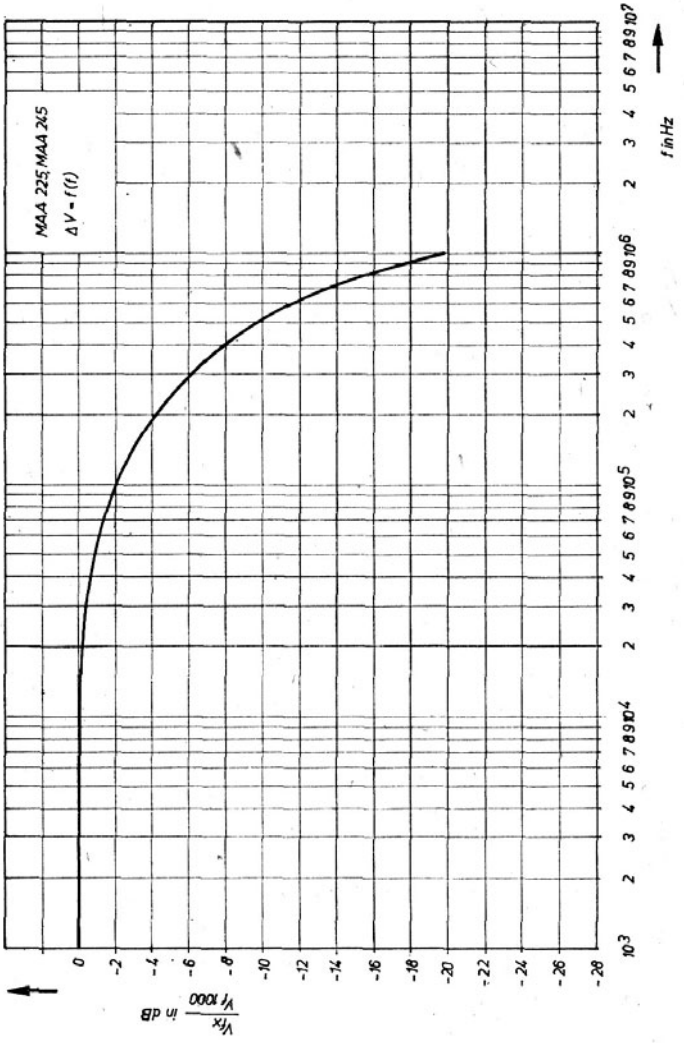


Bild 2.18 Verstärkungsänderung als Funktion der Frequenz bei den IS *MAA 225* und *MAA 245*

wobei τ die Zeitkonstante $(P_1 + R_1) \cdot C_2$ ist. Die Ausgangsspannung U_{aus} des Impulses beträgt 6 V (Spitze-Spitze). Die

Auslösespannung U_{ein} soll 4 V (Spitze-Spitze) für ein Tastverhältnis 1:1 betragen.

2.8. NF-Verstärker *MAA 245*

Der *MAA 245* unterscheidet sich nur in wenigen Daten geringfügig von dem *MAA 225*. Unterschiede bestehen lediglich in dem Grenzwert $U_{1/3,4,6} = U_{2/3,4,6}$ = maximal 12 V. Bei 12 V Betriebsspannung, $R_Z = 470\,\Omega$, $R_G = 1\,k\Omega$ beträgt die maximale Ausgangsspannung 3,6 V und die Verstärkung 80 ... 90 dB bei f = 1 kHz, der Klirrfaktor ist hierbei < 10 %. Bei f = 1 MHz beträgt die maximale Ausgangsspannung 1,7 V und die Verstärkung 60 ... 70 dB. Der Eingangswiderstand bei 1 kHz ist $> 400\,\Omega$.

In bezug auf die Sockelschaltung und den Aufbau gilt das gleiche wie für den *MAA 225* (Bild 1.7c bzw. Bild 2.17). Den Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung zeigt Bild 2.20.

In Bild 2.21 wird ein selektiver Verstärker für 100 Hz mit dem *MAA 245* gezeigt: Die Selektion wird durch ein Doppel-T-

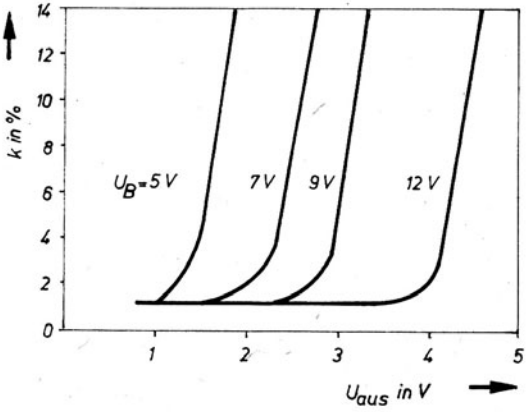


Bild 2.20 Klirrfaktor in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung bei dem *MAA 245*

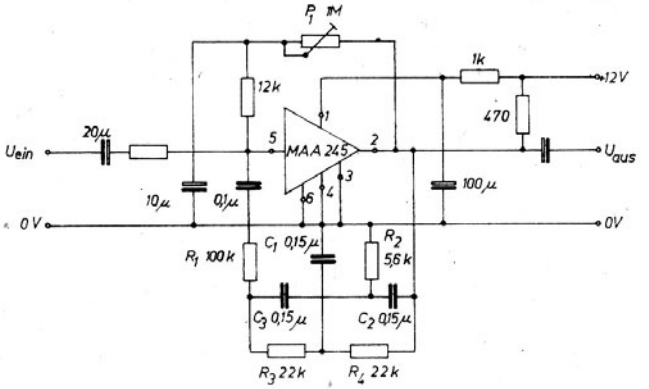


Bild 2.21 Stromlaufplan eines Selektivverstärkers ($f_0 = 100$ Hz) mit *MAA 245*

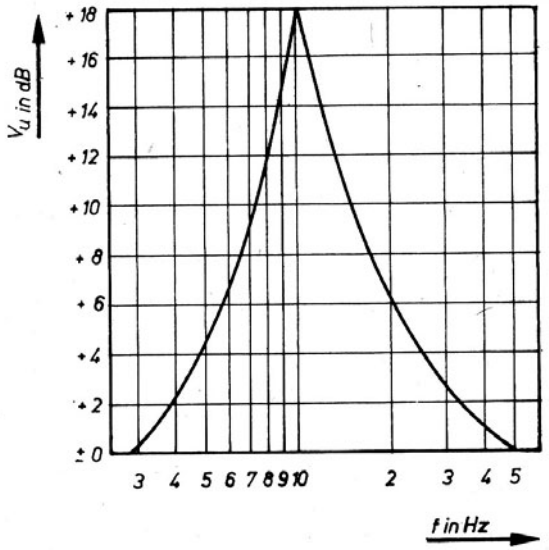


Bild 2.22 Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz bei dem Verstärker gemäß Bild 2.21

Glied in der Gegenkopplung bewirkt. Die Einstellung der Arbeitspunkte der 3 Verstärkerelemente — erinnern wir uns, daß sie galvanisch gekoppelt sind — geschieht durch Verän-

derung von P_1. Die Selektionskurve des Verstärkers ist in Bild 2.22 zu sehen. Die Spannungsverstärkung bei der Resonanzfrequenz 100 Hz beträgt 18 dB.

2.9. Breitbandverstärker *MAA 325*

Die Schaltung des *MAA 325* unterscheidet sich in manchen Punkten von den bisher behandelten IS mit der Bezeichnung *MAA*: Viele Elektroden der Verstärkerstufen sind einzeln herausgeführt. Dadurch können z. B. ein selektives Koppelglied zwischen 1. und 2. Stufe eingefügt werden, oder verschiedene, auch selektive Gegenkopplungen an die Emitter der einzelnen Stufen. Der Aufbau der IS *MAA 325* wird in Bild 2.23 gezeigt, den 8poligen Sockel zeigt Bild 1.7d.
Die Grenzwerte: $U_B = U_{8/3} = U_{1/2} = 7$ V; $I_1 = 40$ mA; $I_3 = 5$ mA; $I_4 = 10$ mA; $I_5 = 20$ mA; $I_6 = 10$ mA; $P_{v\,max} = 300$ mW bei Umgebungstemperaturen bis 45 °C. Als aperiodischer Verstärker (Kontakte 7 und 6 verbunden) ist bei $U_B = 7$ V; $U_{aus} = 2{,}1$ V; $R_z = 470\,\Omega$; $R_G = 2$ kΩ bei f = 1 kHz die Verstärkung > 70 dB und der Klirrfaktor < 10 %. Bei höheren Frequenzen gehen die maximale Ausgangsspannung und die Verstärkung zurück, z. B. bei f = 1 MHz sind die Werte 1,7 V bzw. > 60 dB. Der Rauschfaktor im NF-Bereich wird mit < 8 dB angegeben. Die Kurzschlußstromverstärkung jedes Verstärkerelementes liegt bei maximal 180 ... 200, ihre Grenzfrequenz bei etwa 220 ... 240 MHz.
In bezug auf die Schaltung und die Daten (nicht der Sockelschaltung!) ist der *MAA 325* dem *TAA 151* von *Siemens* ähnlich.

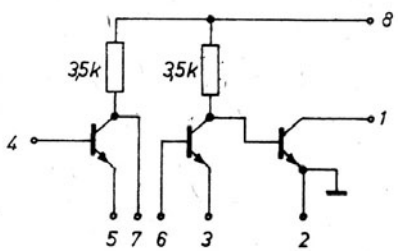


Bild 2.23
Stromlaufplan der IS *MAA 325*

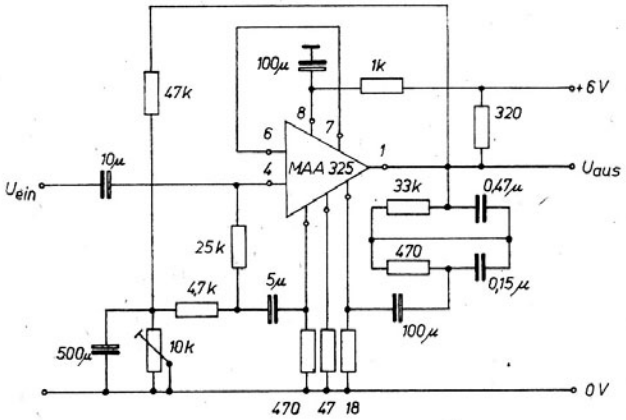


Bild 2.24 Stromlaufplan eines Entzerrer-Vorverstärkers mit *MAA 325*

Den Stromlaufplan eines Entzerrer-Vorverstärkers für magnetische Tonabnehmer mit dem *MAA 325* zeigt Bild 2.24, den Frequenzgang der Ausgangsspannung Bild 2.25. Folgende Technische Daten wurden erreicht:

Speisespannung:	6 V bei I = 14 mA
Maximale Eingangsspannung bei 1 kHz	20 mV
Maximale Ausgangsspannung bei 1 kHz	80 mV
Spannungsverstärkung bei 1 kHz	38 dB
Eingangswiderstand	50 kΩ
Signal/Rausch-Verhältnis bei 1 kHz, $U_e = 10$ mV	50 dB

Auch mit dem *MAA 325* läßt sich ein Schwerhörigen-Hörapparat aufbauen, der — im Gegensatz zu den auf S. 39 gezeigten Schwerhörigen-Hörhilfen eine Lautstärkeregelung zwischen 1. und 2. Stufe besitzt (Bild 2.26). Dies bedeutet, daß der Signal/Rausch-Abstand dieser Schaltung meist größer ist (ein eventuelles Rauschen der 1. Stufe wird ja durch den Regler im gleichen Maße zurückgeregelt wie die Nutzspannung aus dem Mikrofon).

P_1 dient zur Einstellung des Arbeitspunktes des 1. Verstärker-

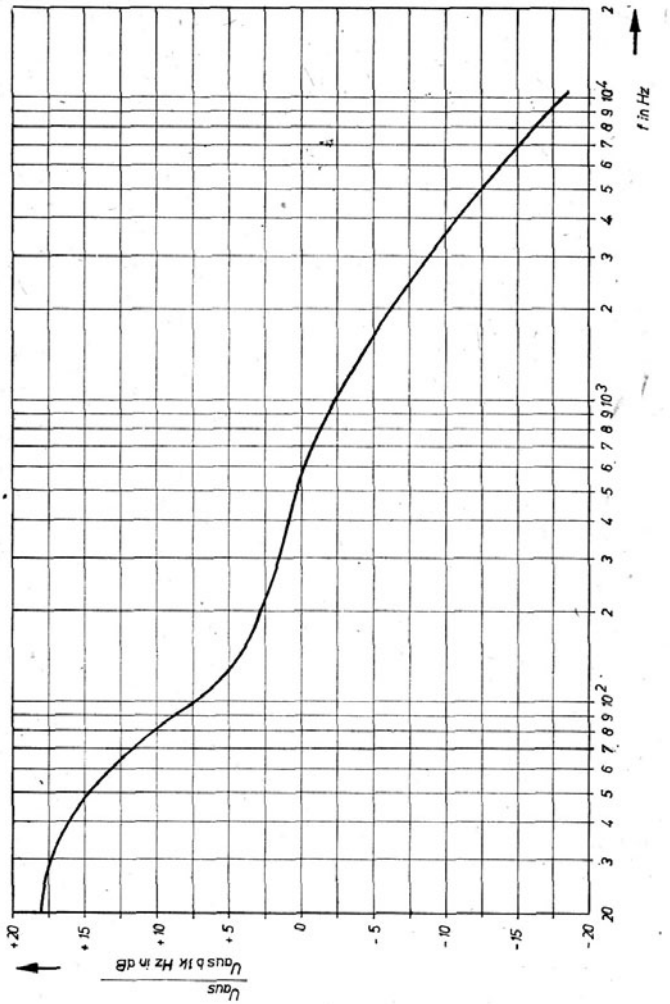


Bild 2.25 Verstärkung in Abhängigkeit von der Frequenz bei dem Entzerrer-Verstärker gemäß Bild 2.24

elementes, P_2 ist der erwähnte Lautstärkeregler. Das Mikrofon ist vom dynamischen Typ (Tauchspulmikrofon).

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der oft verwendeten

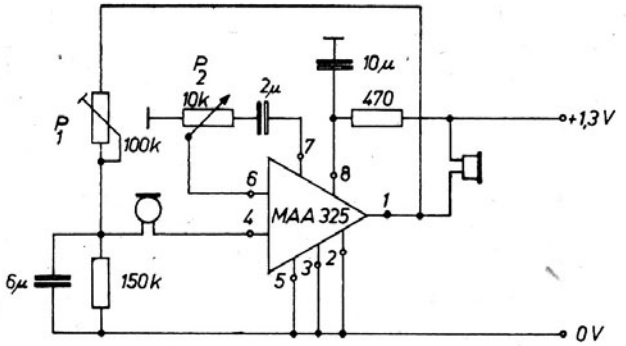


Bild 2.26 Schwerhörigen-Verstärker mit *MAA 325*

(weil sehr vielseitigen) IS *MAA 325* ist in Bild 2.27 zu sehen: Hier arbeitet sie in Zusammenhang mit der Silizium-Fotodiode *1 PP 75* (TESLA) und dem Transistor *GC 121* (Kombinat VEB *Halbleiterwerk* Frankfurt/Oder) als lichtgesteuerter Schwellwertschalter. Die Verstärkerelemente der IS T_2 und T_3 sind als *Schmitt*-Trigger geschaltet, T_1 ist außer Betrieb (kurzgeschlossen). Mit R_1 kann die Empfindlichkeitsschwelle eingestellt werden, also die Helligkeit, bei der das Relais schaltet.

Die Fotodiode *1 PP 75* kann natürlich durch andere Foto-

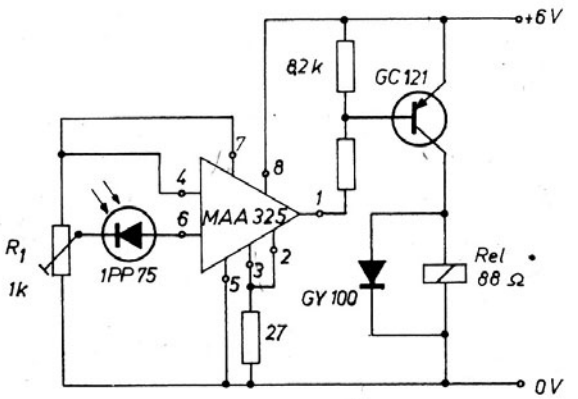


Bild 2.27 Lichtgesteuerter Schwellwertschalter mit *MAA 325*

dioden ersetzt werden. Früher stellte der VEB *Werk für Fernsehelektronik* die Ge-Fotodioden *GP 119 ... 123* her, die heute durch sowjetische Importtypen ersetzt sind. Im allgemeinen genügt es bei Bestückung mit einer anderen Fotodiode, den Regler R_1 zu verstellen.
Der Transistor *GC 121* muß durch einen größeren Typ ersetzt werden, wenn der Strom durch das Relais größer als 250 mA ist. Die IS *MAA 325* kann ohne Änderung durch die IS *MAA 345* ersetzt werden.
Ein Applikationsbeispiel mit dem *MAA 325* als AM-ZF-Verstärker (Selektivverstärker) zeigt Bild 2.28. Hier wird von der angedeuteten Möglichkeit — der Anschluß von einem selektiven Koppelglied (hier: ein ZF-Bandfilter) zwischen 1. und 2. Stufe der IS — Gebrauch gemacht. Die Demodulationsdioden der Schaltung — *GA 201* — können durch unsere *GA 101* o. ä. ersetzt werden, die ZF-Bandfilter sind die bei Transistorempfängern üblichen.

2.10. Breitbandverstärker *MAA 345*

Alle für den *MAA 325* genannten Werte einschließlich Aufbau und Sockelschaltung gelten auch für die IS *MAA 345* mit einer Ausnahme: Der Grenzwert von U_B ist zwar auch 12 V, der Grenzwert vom $U_{8/3}$ ebenfalls 7 V. Abweichend von dem des *MAA 325* ist jedoch der Grenzwert von $U_{1/2}$: Er beträgt beim *MAA 345* 12 V (im Gegensatz zum *MAA 325*, bei dem er 7 V war).
In bezug auf Schaltung und Daten (nicht in bezug auf die Sockelschaltung) ist der *MAA 345* dem *TAA 151 S* von *Siemens* sehr ähnlich.

2.11. Breitbandverstärker *MAA 435*

Auch die IS *MAA 435* ist ein 3stufiger Verstärker. Sie ist eigentlich ein Dreifachtransistor (Bild 2.29), denn Widerstände enthält sie nicht, sondern nur einen galvanisch gekoppelten

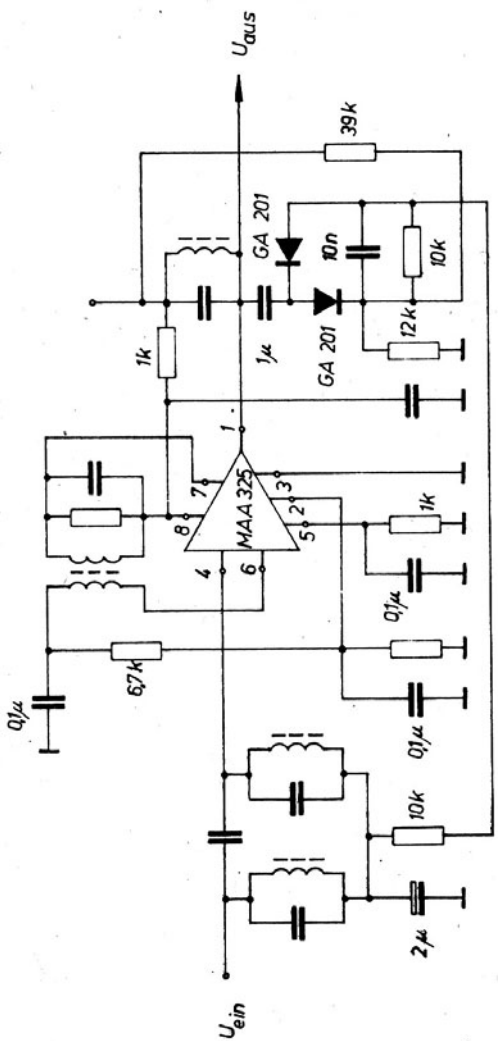


Bild 2.28 *MAA 325* als AM-ZF-Verstärker

2stufigen Verstärker (*Darlington*-Schaltung) und einen getrennten 3. Transistor. Alle „freien" Elektroden dieser IS sind einzeln an den Sockel geführt. Eine Verstärkung des Gesamtverstärkers kann deshalb nicht angegeben werden.

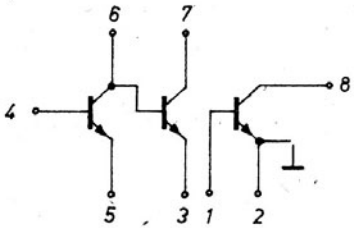


Bild 2.29
Stromlaufplan des *MAA 435*

Einige Grenzwerte: $U_{6/5} = U_{7/3} = 7$ V; $U_{8/2} = 9$ V; $U_{5/4} = U_{3/6} = U_{2/1} = 6$ V; $I_2 = 40$ mA; $I_3 = I_5 = 20$ mA; $P_{v\,max} = 300$ mW bei Umgebungstemperaturen bis 45 °C.
Der Stromverstärkungsfaktor h_{21e} jedes der 3 Verstärkerelemente ist > 40, die optimale Emitter-Basisspannung des 1. Verstärkerelementes soll etwa 0,65 V betragen, der Rauschfaktor des 1. Verstärkerelementes im NF-Bereich (30 Hz ... 15 kHz) beträgt ≈ 8 dB bei $U_{5/6} = 6$ V; $I_6 = 100\ \mu$A; $R_G = 2$ kΩ; die Transitgrenzfrequenz ist beim 1. Verstärkerelement 190 MHz und beim 3. Verstärkerelement 170 MHz. Bild 2.30 veranschaulicht die Abhängigkeit des Basisstromes von der Emitter-Basis-Spannung beim 3. Verstärkerelement.

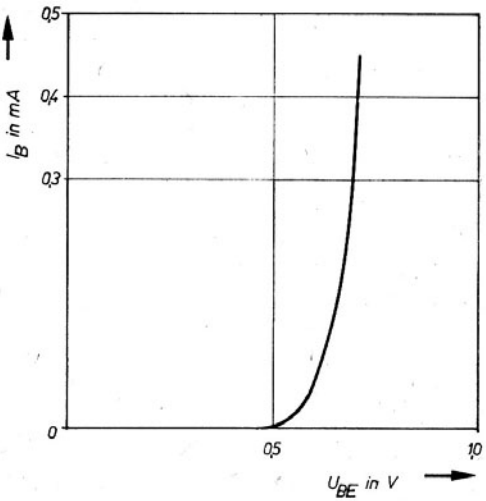


Bild 2.30 Basisstrom in Abhängigkeit von der Spannung U_{BE} beim Verstärkerelement T_3 im *MAA 435*

Mit der IS *MAA 435* läßt sich der gesamte Vorverstärker- und Treiberteil eines NF-Verstärkers bestücken. Bild 2.31 zeigt seine Schaltung. Der Eingangswiderstand des Verstärkers beträgt 10 kΩ. Die Lautstärke wird an P_1 geregelt, der Arbeitspunkt des 1. und 2. Verstärkerelements wird mit dem 470-kΩ-Potentiometer P_2 eingestellt, mit P_3 (330 kΩ) der Arbeitspunkt des 3. Verstärkerelementes des *MAA 435*. Als „eisenlose Endstufe" fungieren die komplementären Transistoren *GC 511 K/GC 521 K* von TESLA. Bei einem Außenwiderstand (hier: Impedanz der Schwingspule) von 5 Ω beträgt die Ausgangsleistung 580 mW bei $U_B = 6$ V, 1,2 W bei $U_B = 9$ V und 2,3 W bei $U_B = 15$ V. Für Vollaussteuerung sind etwa 3 ... 4 mV erforderlich. Der 3-dB-Frequenzbereich reicht von 80 Hz bis 12 kHz. Bei $U_B = 15$ V beträgt der Ruhestrom des Verstärkers etwa 30 mA, der Strom bei Vollaussteuerung liegt unter 440 mA.

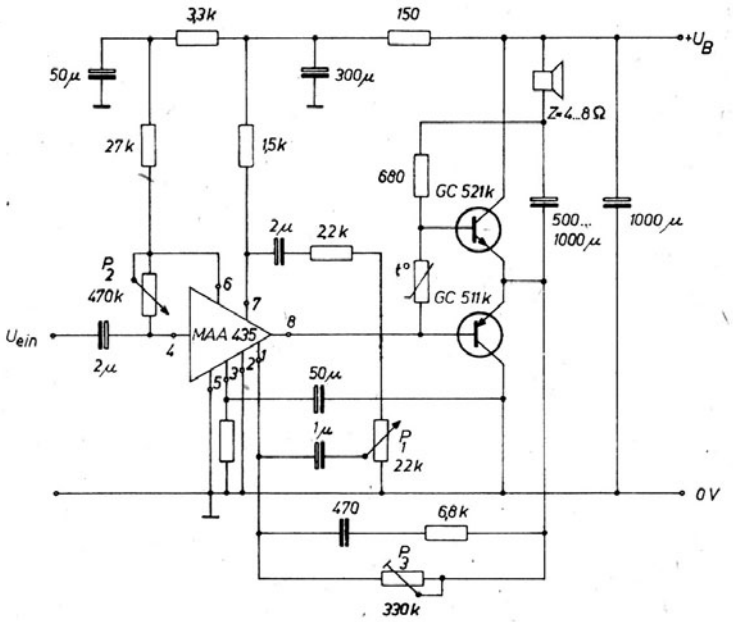


Bild 2.31 Stromlaufplan eines Vorverstärkers mit *MAA 435*

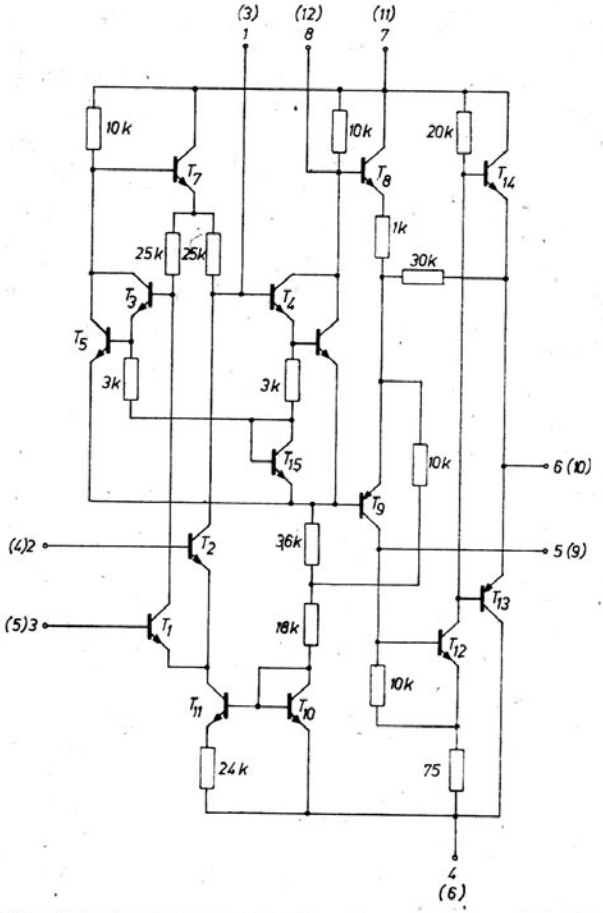


Bild 2.32 Stromlaufplan des Operationsverstärkers *MAA 501*

2.12. Operationsverstärker *MAA 501*

Der innere Aufbau des Operationsverstärkers *MAA 501* ist in Bild 2.32 zu sehen, der 8polige Sockel in Bild 1.7d. Für die Belegung der Sockelanschlüsse gilt:

Kontakt 1 mit Kontakt 8 zusammen: Eingangs-Frequenzgangkompensation

Kontakt 2 invertierender Eingang
Kontakt 3 nichtinvertierender Eingang
Kontakt 4 $-U_{Bat}$
Kontakt 5 Ausgangs-Frequenzgangkompensation (mit Kontakt 6)
Kontakt 6 Ausgang
Kontakt 7 $+U_{Bat}$
Kontakt 8 mit Kontakt 1 zusammen: Eingangs-Frequenzgangkompensation.

Sockelschaltung, Aufbau und Anschlußbelegung gelten auch für die auf den nächsten Seiten behandelten IS *MAA 502* und *MAA 504*. Folgende Grenzwerte für den *MAA 501* werden von TESLA genannt. [In den neuesten Tabellen (1974 und später) wird der *MAA 501* nicht mehr aufgeführt.]: $U_{B\,max} = \pm 18$ V; Differential-Eingangsspannung $U_{diff\,max} = \pm 5$ V; Eingangsspannung $U_{ein\,max} = \pm 10$ V. Die Ausgangsklemmen dürfen nicht länger als 5 s kurzgeschlossen werden. Die maximal zulässige Verlustleistung beträgt 300 mW, der thermische Widerstand $R_{thjU} = 0{,}18$ grd/mW. Die dynamischen Werte: Asymmetrie der Eingangsspannung $\leqq 6$ mV, Temperaturdrift der Eingangsspannungs-Asymmetrie $\leqq 6$ μV/grd, Leerlauf-Spannungsverstärkung bei $U_B = \pm 15$ V, $R_z = 2$ kΩ, $U_{Aus} = \pm 10$ V beträgt 88 ... 97 dB, die Ausgangs-Spitzenspannung bei $U_B = \pm 15$ V ist ± 14 V bei $R_z = 10$ kΩ und ± 13 V bei $R_z > 2$ kΩ. In Bild 2.33 ist die Frequenzabhängigkeit der Spannungsverstärkung als Funktion der Frequenz bei verschiedenen Belastungen des Ausgangs zu sehen.

Bild 2.34 zeigt den Stromlaufplan eines Impulsformers (Rechteckimpulse aus Sinusschwingungen) mit dem *MAA 501*. Die Schaltung arbeitet mit Eingangssignalen ab etwa 20 mV. Mit dem Regler P_1 kann eine eventuelle Asymmetrie des Ausgangssignals korrigiert werden.

In Bild 2.35 wird mit dem *MAA 501* ein Langzeit-Verzögerungsschalter gebildet. Das zeitbestimmende Bauelement ist hier der Kondensator C_1. Er verzögert den Strom durch R_x um etwa 17 nF/s, d. h., für 100 s Verzögerung ist C_1 ungefähr

$$\frac{100}{17} \cdot 6{,}1 \text{ nF}.$$

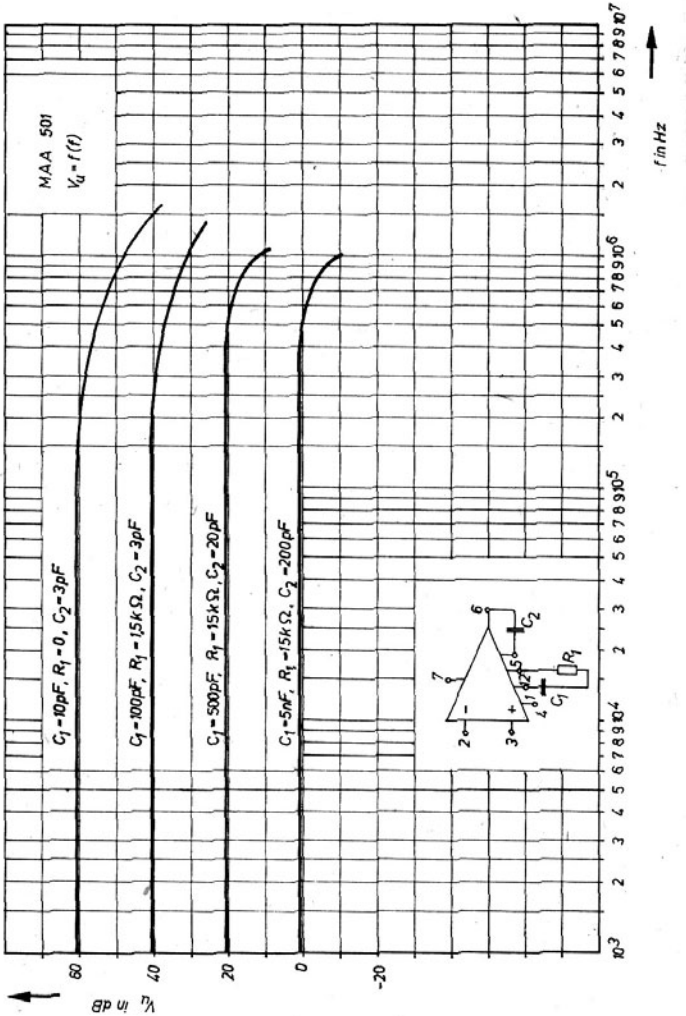


Bild 2.33 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung des *MAA 501* bei verschiedenen äußeren Beschaltungen

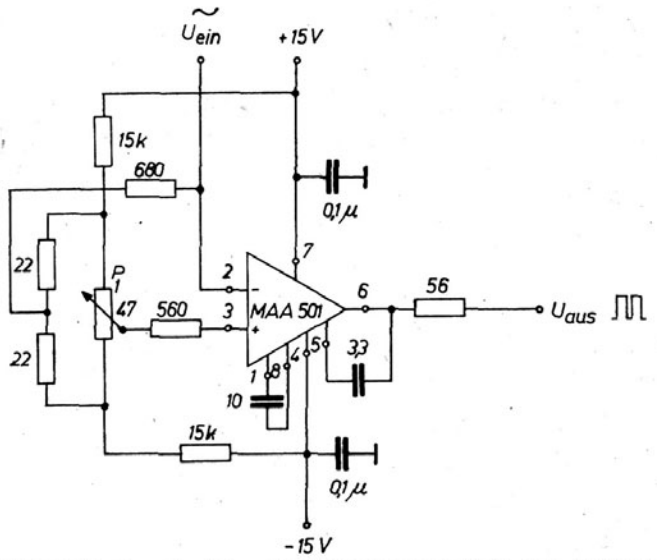


Bild 2.34 Stromlaufplan eines Impulsformers mit dem *MAA 501*

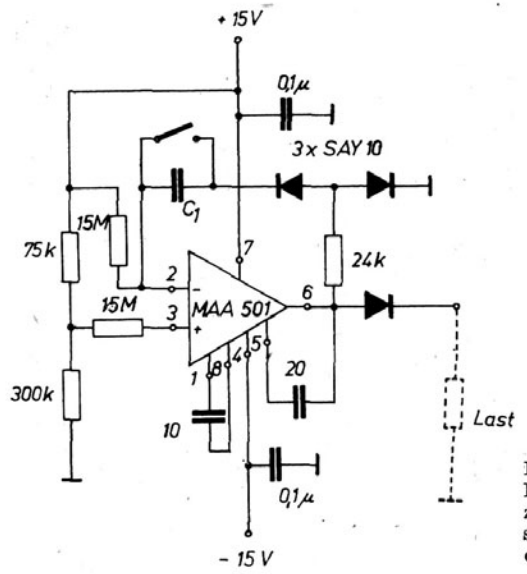


Bild 2.35 Langzeit-Verzögerungsschalter mit dem *MAA 501*

2.13. Operationsverstärker *MAA 502*

Der Operationsverstärker *MAA 502* hat fast identische Daten wie der *MAA 501*, Aufbau, Sockelschaltung und Grenzwerte sind gleich. Die Eingangsspannungs-Asymmetrie beträgt bei dem *MAA 502* < 3 mV, die Temperaturdrift der Eingangsspannungs-Asymmetrie 1,8 ... 25 μV/grd je nach Last und Temperatur (—55 ... + 125 °C). Die Leerlauf-Spannungsverstärkung bei $U_B = \pm 15$ V, $R_z = 2$ kΩ und $U_{Aus} = \pm 15$ V beträgt wieder 88 ... 97 dB, die Ausgangs-Spitzenspannung hat den gleichen Wert wie bei dem *MAA 501*. Für die Abhän-

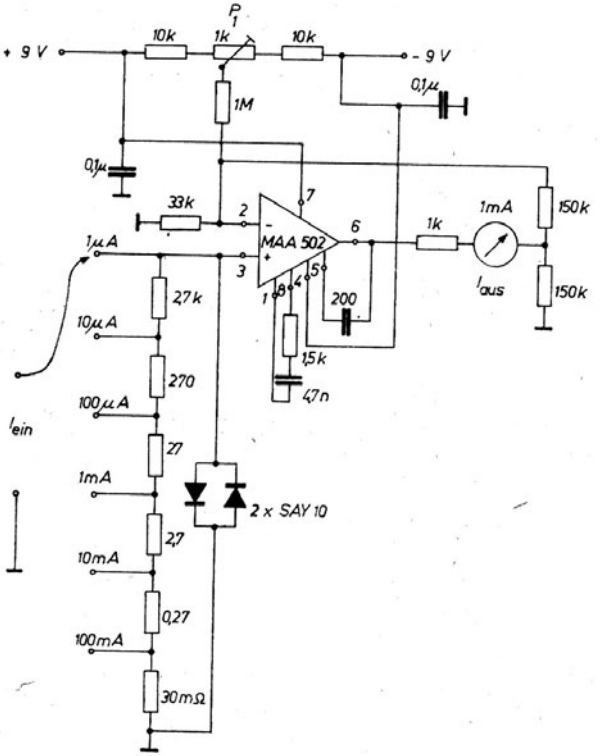


Bild 2.36 *MAA 502* in einem Mikroamperemeter

gigkeit der Spannungsverstärkung von der Frequenz gilt wieder das Bild 2.33. Den Einsatz eines *MAA 502* als Verstärker in einem (Gleichstrom-)Mikroamperemeter zeigt Bild 2.36. Der Ausgangsstrom I_{Aus} ergibt sich aus der Beziehung

$$I_{Aus} = I_{Ein} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} .$$

Mit den Werten in Bild 2.36 ergeben sich folgende Meßbereiche für Vollausschlag: 1 μA, 10 μA, 100 μA, 1 mA, 10 mA, 100 mA. Mit P_1 wird der Nullpunkt abgeglichen.

Ein weiteres Applikationsbeispiel aus der Meßtechnik mit der IS *MAA 502* ist in Bild 2.37 zu sehen: Es zeigt den Stromlaufplan eines (Gleichspannungs-) Millivoltmeters.

Das Anzeigeinstrument ist ein 250-μA-Drehspulinstrument. Geeicht wird das Gerät mit dem 15-kΩ-Potentiometer, P_1 ist wieder die Nullkorrektur. Die Meßbereiche (Vollausschlag) des Millivoltmeters sind:

Bereich A 2,5 mV
Bereich B 25 mV

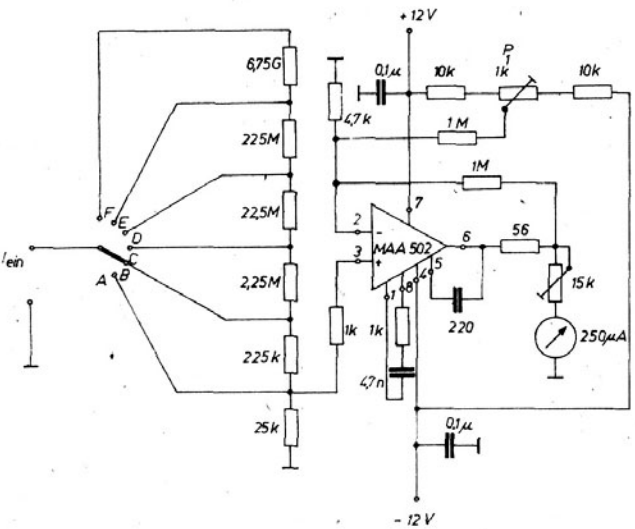


Bild 2.37 *MAA 502* in einem Gleichspannungs-Millivoltmeter

Bereich C	250 mV
Bereich D	2,5 V
Bereich E	25 V
Bereich F	100 V

Der Stromversorgungsteil muß eine symmetrische Gleichspannung von etwa 2 × 12 V liefern. Die Masse des Gerätes ist folglich nicht mit dem Minuspol der Speisespannung verbunden.

2.14. Operationsverstärker *MAA 503*

Die IS *MAA 503* hat die gleichen Daten wie der folgende *MAA 504*, jedoch einen anderen Sockel (*DIL 14*, siehe Bild 1.7h). Die Anschlußbelegungen der Sockelkontakte:

Kontakt 1	nicht angeschlossen
Kontakt 2	nicht angeschlossen
Kontakt 3	mit Kontakt 12 zusammen: Frequenzgangkompensation
Kontakt 4	invertierender Eingang
Kontakt 5	nichtinvertierender Eingang
Kontakt 6	$-U_{Bat}$
Kontakt 7	nicht angeschlossen
Kontakt 8	nicht angeschlossen
Kontakt 9	Ausgangs-Frequenzgangkompensation (mit Kontakt 10)
Kontakt 10	Ausgang
Kontakt 11	$+U_{Bat}$
Kontakt 12	mit Kontakt 3 zusammen: Frequenzgangkompensation
Kontakt 13	nicht angeschlossen
Kontakt 14	nicht angeschlossen,

In bezug auf den inneren Aufbau gilt auch hier Bild 2.32, jedoch sind die eingeklammerten Anschlußnummern gültig. Betriebs- und Grenzwerte sind die gleichen wie bei dem *MAA 504* (S. 63).

Als Anwendungsbeispiel für den *MAA 503* soll Bild 2.38 seinen

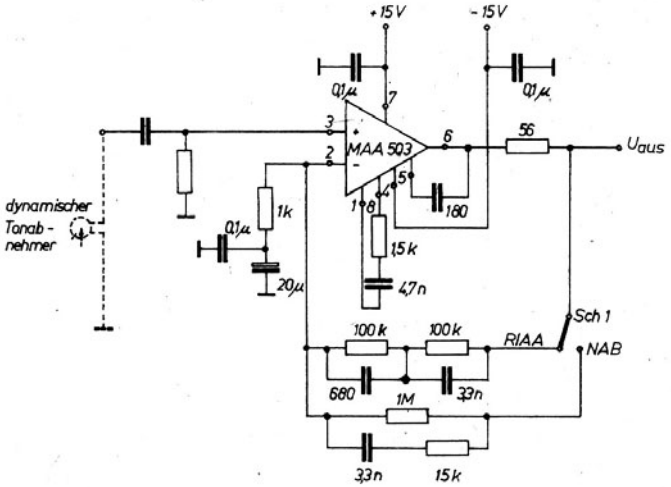


Bild 2.38 Umschaltbarer Tonabnehmer-Entzerrer mit *MAA 503*

Einsatz als umschaltbaren Entzerrer für dynamische Tonabnehmer zeigen. Mit Sch1 kann die Korrekturkurve für die Normen RIAA und NAB eingestellt werden. (Der wesentlichste Unterschied zwischen beiden Kurven besteht darin, daß bei RIAA die Tiefenabsenkung ab 30 Hz mit einer Steilheit von15 dB/Oktave einsetzt, bei NAB mit 20 dB/Oktave.)
Die Rauschspannung bei kurzgeschlossenem Eingang ist etwa 0,8 mV, die nichtlinearen Verzerrungen bei 1 kHz und Abschlußwiderstand $R_z = 100$ kΩ liegen unter 0,1 %. Der Eingangswiderstand schließlich beträgt bei f = 1 kHz ungefähr 370 kΩ, bei f = 100 Hz etwa 37 kΩ, bei f = 10 kHz etwa 3,7 MΩ.
Die IS *A 109 C* des VEB *Halbleiterwerk* Frankfurt/Oder entspricht dem *MAA 503*.

2.15. Operationsverstärker *MAA 504*

Der Operationsverstärker *MAA 504* hat den gleichen Aufbau, Sockelschaltung und Grenzwerte wie seine „Brüder" *MAA 501*

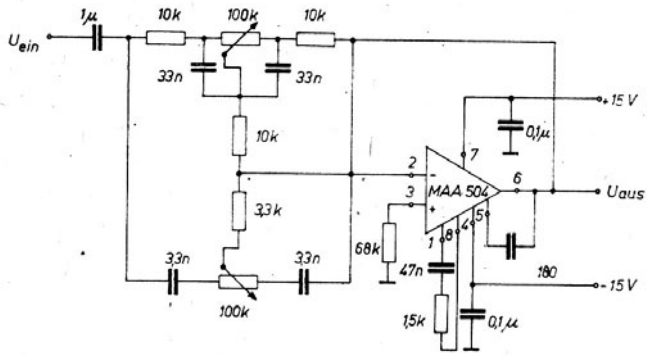


Bild 2.39 Stromlaufplan eines Vorverstärkers mit getrennter Höhen- und Tiefenregelung mit *MAA 504*

und *MAA 502*. Die Eingangsspannungs-Asymmetrie wird hier mit 2 ... 7,5 mV angegeben. Die maximale Ausgangsspannung ist gleich der von *MAA 501* und *MAA 502*. Die Verstärkung ist jedoch kleiner: 83 ... 93 dB bei $U_B = \pm 15$ V; $R_z = 2$ kΩ und $U_{Aus} = \pm 10$ V.

Bild 2.33 (Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Frequenz) gilt auch für den *MAA 503*.

Die IS *MAA 504* von TESLA ist praktisch gleich dem *IL 6095* (*RIZ*), *SFZ 2709* (*Sescosem*), *µA 709 C* (*Fairchild*) bzw. *TAA 521* (*Valvo*).

Den Stromlaufplan eines Vorverstärkers mit dem *MAA 504*, mit getrennter Höhen- und Tiefenregelung, zeigt Bild 2.39. Die Klangblende ist nach dem Prinzip der sogenannten „Kuhschwanz"-Klangregler aufgebaut. Die Verstärkung bei 1 kHz beträgt 0 dB (Wert 1), die Regler erlauben eine maximale Anhebung bzw. Abschwächung der tiefen bzw. hohen Frequenzen um ± 20 dB.

2.16. Breitbandverstärker *MAA 525*

Bei der 3stufigen Verstärker-IS *MAA 525* sind alle Transistorelektroden einzeln an den 8poligen Sockel (Bild 1.7d) geführt, mit Ausnahme der 3 Emitter, die verbunden sind und gemeinsam herausgeführt werden (Bild 2.40).

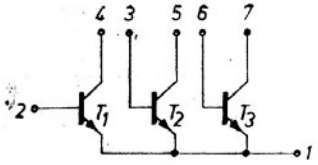


Bild 2.40
Stromlaufplan der Integrierten Schaltung *MAA 525*

Der *MAA 525* ist keine eigentliche Integrierte Schaltung — es fehlen ihm passive Bauelemente und Verbindungen der Verstärkerelemente untereinander. Die Grenzwerte der Transistoren sind: $U_{CE\,max} = 7$ V; $I_{C1\,max} = 10$ mA; $I_{C2\,max} = 20$ mA; $I_{C3\,max} = 40$ mA; $U_{EB\,max} = 5$ V; $P_{V\,max} = 300$ mW (aller drei Transistoren zusammen). Einige Betriebswerte: $h_{21e} = 20$ (jedes Transistors); empfohlener Wert für $U_{EB} =$ 0,5 ... 0,8 V. Von der Grenzfrequenz f_T und dem Rauschfaktor F sind lediglich die Werte der Stufe 1 bekannt: $f_T = 280$ MHz; F = 10 dB. Die einzeln herausgeführten Elektroden erlauben große Variationen der Verstärkerschaltung, die durchaus nicht auf Breitbandverstärker beschränkt sein müssen.

2.17. Spannungsstabilisator *MAA 550*

Die IS *MAA 550* wird wie eine Z-Diode geschaltet (Bild 2.41), um eine Gleichspannung von 31 ... 35 V zu stabilisieren. Der innere Aufbau des *MAA 550* ist jedoch wesentlich komplizierter als bei einer einfachen Z-Diode (Bild 2.42, Sockelschaltung 1.7a). Bild 2.43 gibt die Abhängigkeit der stabilisierten Spannung $U_{P/N}$ vom Strom I_P wieder. Der Grenzwert des Querstromes $I_{P/N}$ ist 15 mA bei maximal 75 °C Gehäusetemperatur, der dynamische Widerstand $r_{P/N}$, der dem Z-Widerstand einer Z-Diode entsprechen würde, beträgt bei $I_{P/N} = 5$ mA 12 ... 25 Ω, je nach Frequenz.
Ein Applikationsbeispiel für die IS *MAA 550* aus unserer Elektronikindustrie ist in Bild 2.44 zu sehen. Es zeigt die Stabilisierung der Abstimm-Gleichspannung in dem Fernsehempfänger *Luxomat* des VEB *Fernsehgerätewerke* Staßfurt.

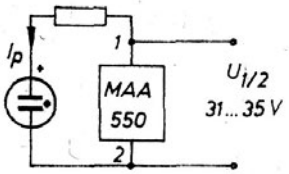


Bild 2.41
Prinzipielle Schaltung des Spannungsstabilisators *MAA 550*

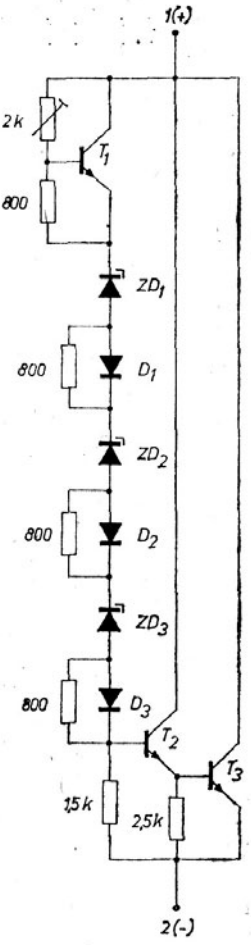


Bild 2.42
Stromlaufplan der IS *MAA 550*

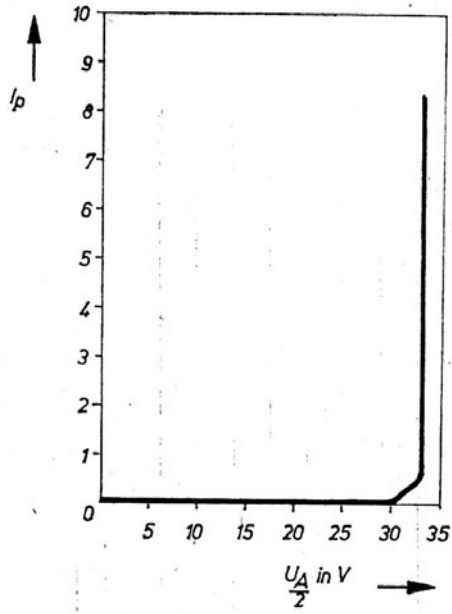


Bild 2.43 Abhängigkeit der stabilisierten Spannung vom Strom I_p beim *MAA 550*

2.18. FM-ZF-Verstärker, Demodulator und NF-Vorverstärker *MAA 661*

Die IS *MAA 661* stellt einen bedeutenden Geräteteil des UKW-FM- oder des TV-Empfängers dar. Er enthält 25 Transistorelemente (teilweise als Dioden, nur die Strecken E-B verwendet). Die Schaltung (Bild 2.45) ist in einem 14poligen

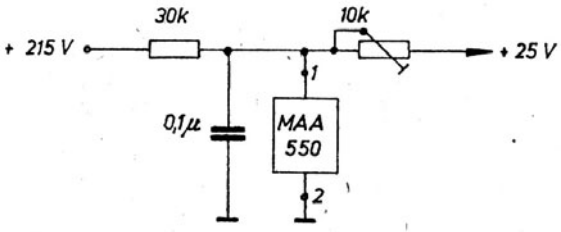


Bild 2.44 Einsatz des *MAA 550* im TV-Empfänger *Luxomat*

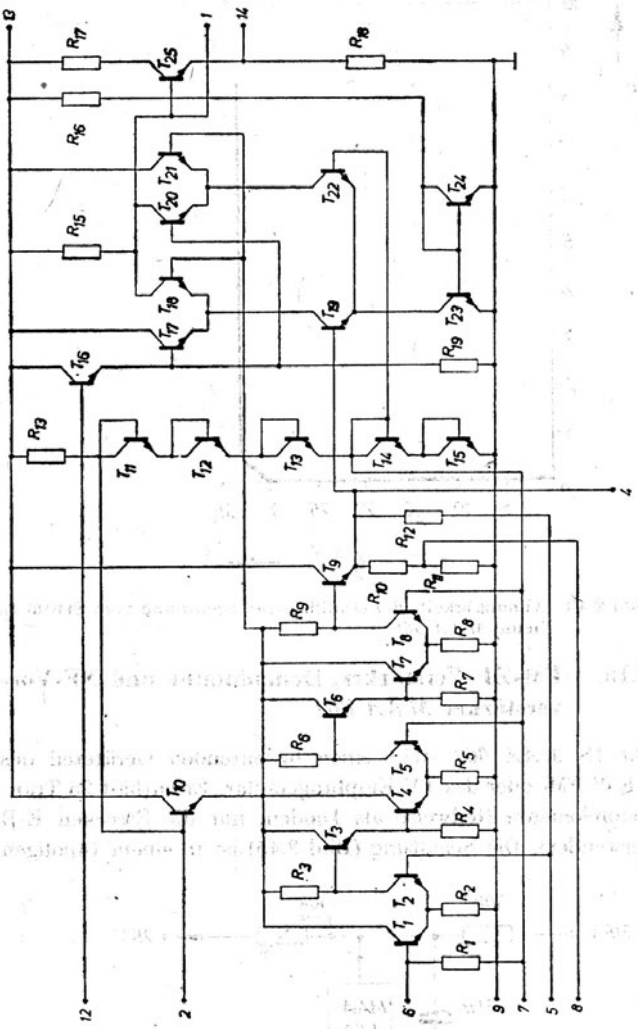


Bild 2.45 Stromlaufplan der Integrierten Schaltung *MAA 661*

Dual-in-line-Gehäuse untergebracht, enthält einen kompletten FM-ZF-Verstärker, gefolgt von einem Produktdemodulator und einem NF-Vorverstärker. Die Belegung der Sockelkontakte:

Kontakt 1	NF-Ausgang vorletzte Stufe
Kontakt 2	ZF-Eingang des Demodulators
Kontakt 3	nicht angeschlossen
Kontakt 4	ZF-Verstärker Ausgang mit großem Pegel
Kontakt 5	Basisvorspannung T_2, T_9 und T_{19}
Kontakt 6	ZF-Verstärkereingang
Kontakt 7	Basisvorspannung T_1, T_5, T_8, T_{14}
Kontakt 8	ZF-Verstärkerausgang mit geringem Pegel
Kontakt 9	0 Volt, Masse
Kontakt 10	nicht angeschlossen
Kontakt 11	nicht angeschlossen
Kontakt 12	Demodulator-Eingang
Kontakt 13	$+U_{Bat}$
Kontakt 14	NF-Ausgang

Der *MAA 661* – z. Z. gibt es erst wenige Unterlagen über ihn – kann, da er keine selektiven Glieder enthält, auch im DF-NF-Teil von OIRT-Fernsehempfängern (f_{DF} = 6,5 MHz) eingesetzt werden. Er ähnelt dem *TBA 120* von *Siemens, Intermetall* u. a. oder dem *CS 20* von *Sescosem*, mit denen er jedoch nicht äquivalent ist!

Die Versorgungsspannung $+U_{Bat}$ am Kontakt 13 darf maximal 15 V betragen, die maximale Eingangsspannung zwischen den Kontakten 5 und 6 $\pm$ 4 V und die Gesamtverlustleistung 600 mW, die Umgebungstemperatur bis 70 °C. Bei $U_{Bat} = +12$ V nimmt die Schaltung im Mittel 13 mA auf. Als 6,5-MHz-DF-Verstärker werden für den *MAA 661* folgende Werte von TESLA angegeben:

Eingangswiderstand des DF-Verstärkers $\approx$ 3,5 kΩ; Eingangswiderstand des DF-Demodulators (Anschluß 12) = 70 kΩ; Verstärker-Ausgangswiderstand (8/9) = 60 Ω; Demodulator-Ausgangswiderstand (14/9) = 100 Ω; AM-Unterdrückung = 50 dB ($U_{6/9}$ = 10 mV, $\Delta f = \pm$ 50 kHz); Spannungsverstärkung ($U_{6/9}$ = 100 μV) = 60 dB. Bei $U_{6/9}$ =

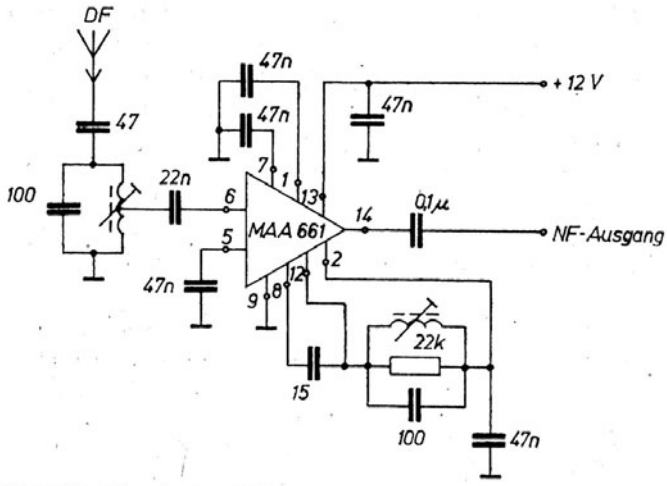


Bild 2.46 Einsatz des *MAA 661* im DF-Teil eines Fernsehempfängers

10 mV, $\Delta f = \pm 50$ kHz, $f_{mod} = 1$ kHz ist die NF-Ausgangsspannung 500 ... 1000 mV, die nichtlinearen Verzerrungen bei $U_{6/9} = 10$ mV, $f = \pm 25$ kHz, $f_{mod} = 1$ kHz betragen 1 %. Die Eingangsspannung $U_{6/9}$ für den Begrenzungseinsatz ist 70 ... 350 mV.

Wie etwa der Einsatz des *MAA 661* als DF-Verstärker erfol-

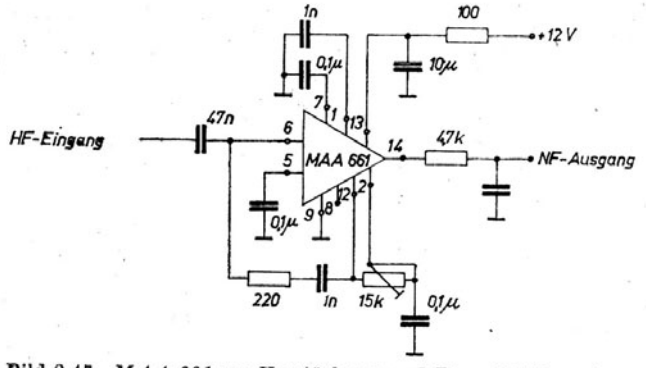


Bild 2.47 *MAA 661* zur Verstärkung und Demodulation einer amplitudenmodulierten HF-Spannung

gen könnte, soll Bild 2.46 verdeutlichen. Das DF-Eingangssignal gelangt von einem auf 5,5 MHz abgestimmten Kreis zum Eingang der IS (Anschluß 6). Der Ausgang des DF-Verstärkers (Anschluß 8) wird über eine kleine Kapazität (15 pF) und einen von außen anzuschließenden Schwingkreis (f_o = 5,5 MHz) auf den Eingang des Koinzidenz-Demodulators gegeben. Am Anschluß 14 wird das NF-Signal abgenommen, mit dem die DF moduliert war. Aber auch zur Demodulation von AM-Signalen kann der *MAA 661* eingesetzt werden, wie Bild 2.47 zeigt.

2.19. Spannungsstabilisator *MAA 723*

Die IS *MAA 723* ist ein Spannungsstabilisator mit recht kompliziertem Aufbau (Bild 2.48). Sie enthält 1 Feldeffekttransistor, 4 pnp-Bipolartransistoren, 11 npn-Bipolartransistoren, 2 Z-Dioden, 14 Widerstände und 1 Kondensator, was bei den TESLA-IS eine Ausnahme darstellt. Sein 10poliger Sockel (Bild 1.7e) ist wie folgt belegt:

Kontakt 1	Stromüberwachung
Kontakt 2	invertierender Eingang
Kontakt 3	nichtinvertierender Eingang
Kontakt 4	Referenzspannungsanschluß
Kontakt 5	—U, Substrat, Gehäuse
Kontakt 6	Ausgang der stabilisierten Spannung
Kontakt 7	Kollektor T_{15}
Kontakt 8	Eingang der nichtstabilisierten Spannung
Kontakt 9	Frequenzgangkompensation (mit Kontakt 2 zusammen)
Kontakt 10	Strombegrenzung

Für die Schaltung der IS *MAA 723* gibt es grundsätzlich 2 verschiedene Möglichkeiten. Zur Stabilisierung einer Spannung von 2 ... 7 V wird die Schaltung gemäß Bild 2.49 empfohlen.

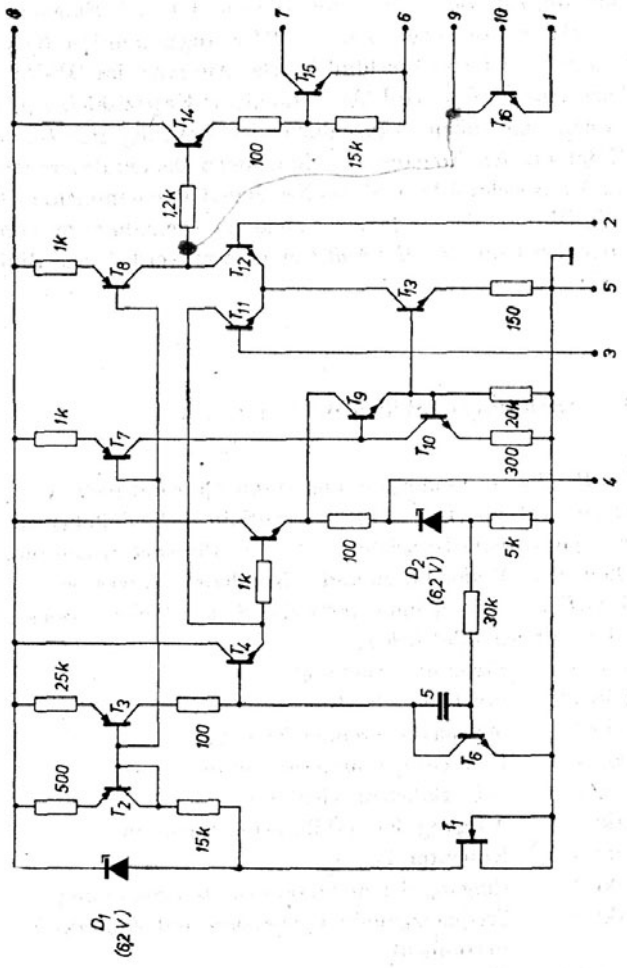


Bild 2.48 Stromlaufplan der IS *MAA 723*

Es ist

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_R; \quad R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

wobei $R_o = 0$ und $C_R = 0$.

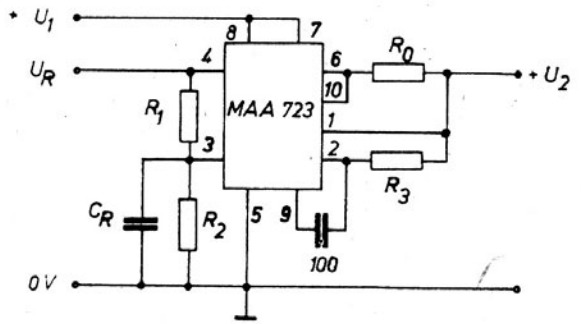


Bild 2.49 Einsatz des *MAA 723* zur Stabilisierung von Spannungen von 2 ... 7 V

Beispiele:

U_2 in V	R_1 in kΩ	R_2 in kΩ
3	4,12	3,01
5	2,15	4,99
6	1,15	6,04

Für die Stabilisierung von Spannungen von 7 ... 33 V ist die Schaltung nach Bild 2.50 günstiger. Für ihre Dimensionierung gilt

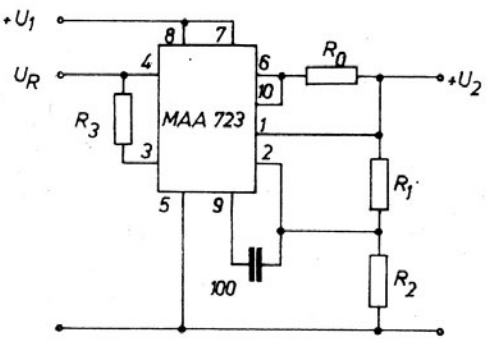


Bild 2.50 *MAA 723* zur Stabilisierung von Spannungen von 7 ... 33 V

$$U_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot U_R; \quad R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

wobei R = 0 ist.

Auch hier wieder einige Beispiele:

U_2 in V	R_1 in kΩ	R_2 in kΩ
9	1,87	7,15
15	7,87	7,15
28	21	7,15

Die Vergleichsspannung (Referenzspannung) soll im Mittel 7,15 V (6,95 ... 7,35 V) betragen ($U_1 = 12$ V; $U_2 = 5$ V). Bei 12 ... 15 V für U_1; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1$ mA ändert sich die Ausgangsspannung U_2 höchstens um 0,02 %, bei 12 ... 40 V Eingangsspannung um höchstens 0,1 %. Bei $U_1 = 12$ V; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1 \ldots 50$ mA ändert sich U_2 um höchstens 0,15 %. Die Umgebungstemperatur darf hierbei zwischen — 55 und + 125 °C schwanken. Der Strom der Referenzspannungsquelle beträgt 2,3 ... 3,5 mA. Die Langzeitkonstanz liegt bei 0,25 % je 1000 Stunden, gemessen bei $U_1 = 12$ V; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1$ mA. Einige wichtige Grenzwerte: $U_{1\,max} = 40$ V dauernd, = 50 V (Impulse), Ausgangsstrom maximal 150 mA, Verlustleistung maximal 800 mW. Die IS *TBA 281* von *Valvo* ist dem *MAA 723* äquivalent.

2.20. Spannungsstabilisator *MAA 723 H*

Die IS *MAA 723 H* ist dem *MAA 723* sehr ähnlich, jedoch nicht identisch mit ihm. Sie ist gewissermaßen der „kleine Bruder" des *MAA 723*. Schaltung und Anwendung sind die gleichen, jedoch unterscheiden sie sich in folgenden Werten: Referenzspannung 6,8 ... 7,5 V; bei $U_1 = 12 \ldots 15$ V; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1$ mA ändert sich die Ausgangsspannung um höchstens 0,1 %, bei $U_1 = 12 \ldots 40$ V; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1$ mA um höchstens 0,4 %. Die Laststromabhängigkeit der Ausgangsspannung: Bei $U_1 = 12$ V; $U_2 = 5$ V; $I_2 = 1 \ldots 50$ mA än-

dert sich U_2 höchstens um 0,3 %. Auch hier darf die Umgebungstemperatur von — 55 ... + 125 °C schwanken. Der Strom aus der Referenzspannungsquelle beträgt < 5 mA. In bezug auf die Grenzwerte gelten die beim *MAA 723* genannten Zahlen mit einer Ausnahme: Die maximale Verlustleistung darf beim *MAA 723 H* nur 700 mW betragen!

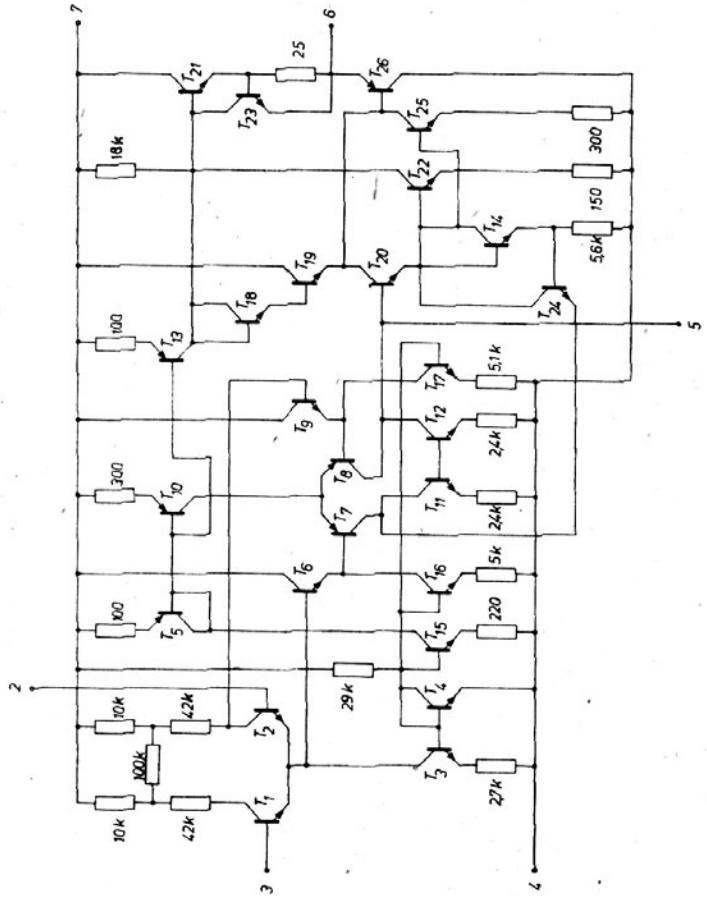


Bild 2.51 Stromlaufplan des Operationsverstärkers *MAA 725*

2.21. Operationsverstärker *MAA 725*

Der Operationsverstärker *MAA 725* ist eine relativ neue (1973) IS von TESLA. Ihr komplizierter Aufbau ist in Bild 2.51 zu sehen. Die Schaltung enthält 26 (!) Verstärkerelemente. Die IS hat den 8poligen *TO-100*-Sockel (Bild 1.7d) mit folgender Anschlußbelegung:

Kontakt 1	frei
Kontakt 2	invertierender Eingang
Kontakt 3	nichtinvertierender Eingang
Kontakt 4	$-U_{Bat}$
Kontakt 5	Frequenzgangkompensation
Kontakt 6	Ausgang
Kontakt 7	$+U_{Bat}$
Kontakt 8	frei

Folgende Werte werden von TESLA für den *MAA 725* genannt:
Bei $U_B = \pm 15$ V und 25 °C Umgebungstemperatur beträgt die Eingangsspannungs-Asymmetrie 0,5 ... 1 mV; die Eingangsstrom-Asymmetrie 2 ... 20 mA; der Eingangswiderstand 1,5 MΩ; die Leerlauf-Spannungsverstärkung 60 ... 63 dB; die Gleichtaktunterdrückung 110... 1 20 dB; die Ausgangs-Spitzenspannung $\pm$ 12 ... $\pm$ 13,5 V bei 10 kΩ Lastwiderstand und größer als $\pm$ 10 V bei 2 kΩ Lastwiderstand; der Ausgangswiderstand 150 Ω; $P_{v\,max}$ ist 105 mW.

2.22. Kompensierter Differentialverstärker *MA 3000*

Die IS *MA 3000* dürfte besonders für Aufgaben aus dem Bereich der Meßtechnik interessieren. Ihre Schaltung (Bild 2.52) weicht von allen bisher in dieser Broschüre behandelten IS ab. Ihr Sockel ist 10polig (Bild 1.7e), mit den Anschlußbelegungen:

Kontakt 1	Eingang 1
Kontakt 2	Basis T_5
Kontakt 3	$-U_{Bat}$
Kontakt 4	Anzapfung am Emitterwiderstand von T_5

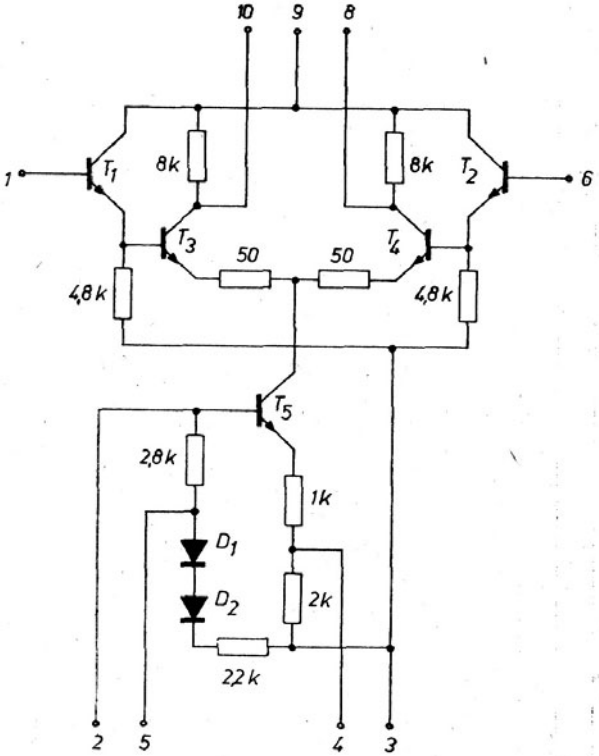


Bild 2.52 Stromlaufplan der IS *MA 3000*

Kontakt 5	Anzapfung am Basiswiderstand von T_5
Kontakt 6	Eingang 2
Kontakt 7	innere Verbindung (keinesfalls als Stützpunkt verwenden!)
Kontakt 8	Ausgang 2
Kontakt 9	$+U_{Bat}$
Kontakt 10	Ausgang 1

Einige Grenzwerte: Speisespannung maximal ± 10 V; Eingangsspannung maximal $\pm$ 2 V; Verlustleistung maximal 300 mW. Einige Kenndaten: Eingangsspannungs-Asymmetrie 1,4 ... 5 mV; Eingangsstrom-Asymmetrie 1,2 ... 10 μA. Eingangs-

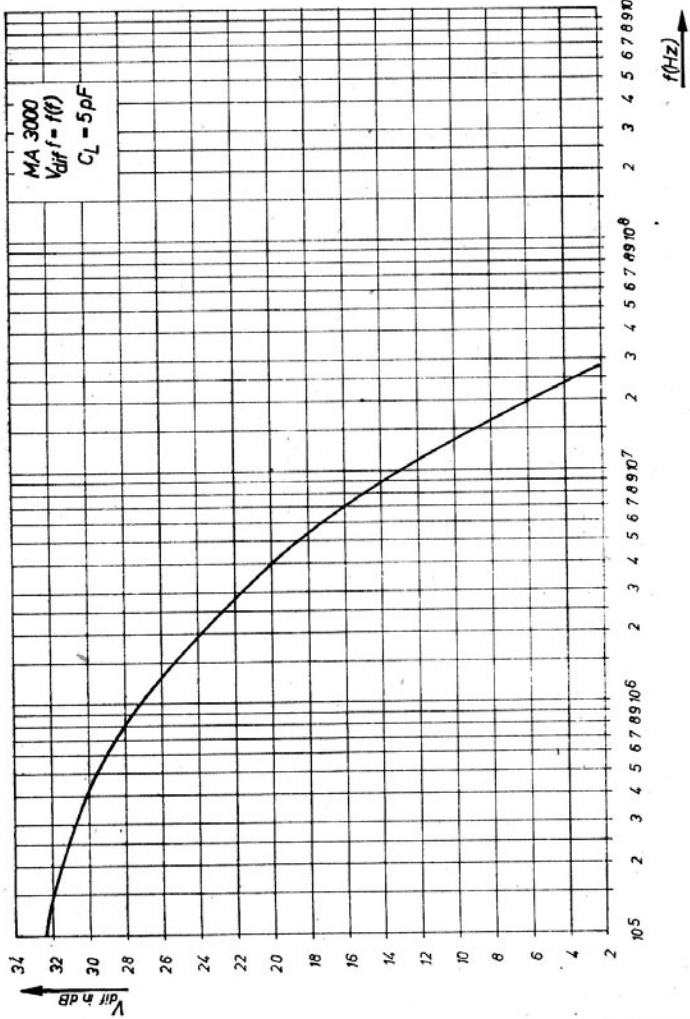


Bild 2.53 Abhängigkeit der differentiellen Verstärkung des *MA3000* von der Frequenz

Nullstrom 23 ... 36 μA; differentielle Spannungsverstärkung (1 kHz) bei asymmetrischem Ausgang 28 ... 32 dB; bei symmetrischem Ausgang 33 ... 37 dB; die maximale Spitze-Spitze-Ausgangsspannung beträgt 5 ... 6,4 V; die 3-dB-Bandbreite 600-650 kHz; das gleichphasige Spannungsunterdrückungsverhältnis 70 ... 98 dB; die Eingangsimpedanz bei asymmetrischem Ausgang 70 ... 195 kΩ; die Ausgangsimpedanz bei symmetrischem Eingang 5,5 ... 10,5 kΩ.

Alle Werte wurden bei einer Speisespannung von + 6 V an Kontakt 9 und — 6 V an Kontakt 3 gemessen. (Genau wie bei den Operationsverstärkern wird bei dem *MA 3000* die Speisespannung symmetrisch zur Masse des Gerätes zugeführt!) In Bild 2.53 wird die differentielle Spannungsverstärkung V_{Dif} in Abhängigkeit von der Frequenz gezeigt (Ausgang mit 5 pF belastet), in Bild 2.54 ist die differentielle Verstärkung in Abhängigkeit von der (negativen) Regelspannung am Kontakt 2 des Sockels zu sehen.

Achtung! Die Sockelkontakte 4 und 5 dürfen nicht miteinander verbunden werden! Das Gehäuse des *MA 3000* ist an den Kontakt 3 ($-U_{Bat}$) geschaltet.

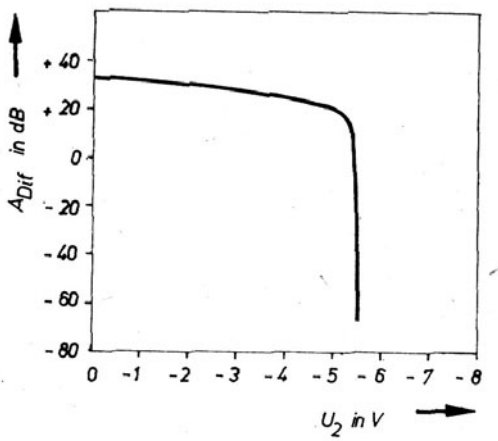


Bild 2.54 Differentielle Verstärkung des *MA 3000* in Abhängigkeit von der Regelspannung

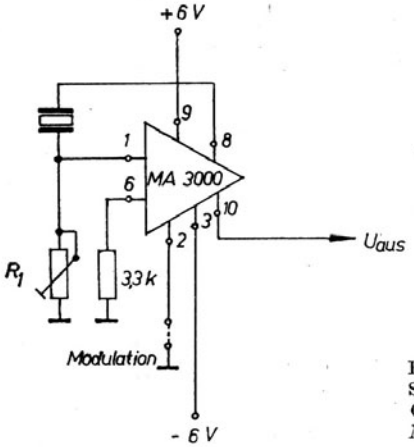


Bild 2.55
Stromlaufplan eines Quarzoszillators mit dem *MA 3000*

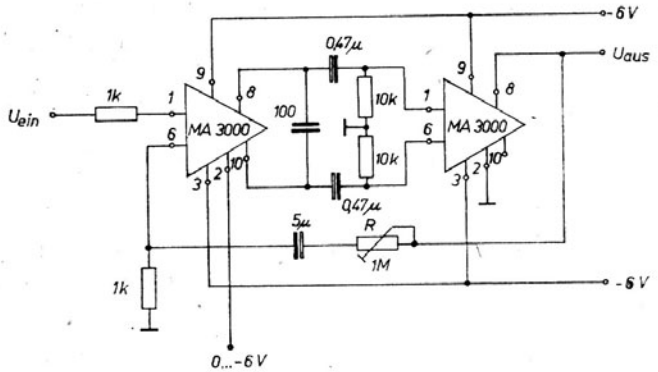


Bild 2.56 Stromlaufplan eines 2stufigen Breitbandverstärkers mit 2 *MA 3000*

Zur Anwendungsmöglichkeit des *MA 3000* werden in Bild 2.55 und Bild 2.56 Beispiele gegeben:

Bild 2.55 zeigt den Stromlaufplan eines Kristalloszillators. Mit R_1 wird die Rückkopplung eingestellt, an Anschluß 2 kann eine Modulationsquelle angeschlossen werden. Sie muß galvanischen Durchgang haben! Ersetzt man den Quarz des Oszillators durch einen Kondensator von 1 ... 10 nF, so erzeugt der Oszillator Rechteckimpulse, deren Länge mit R_1 zwischen

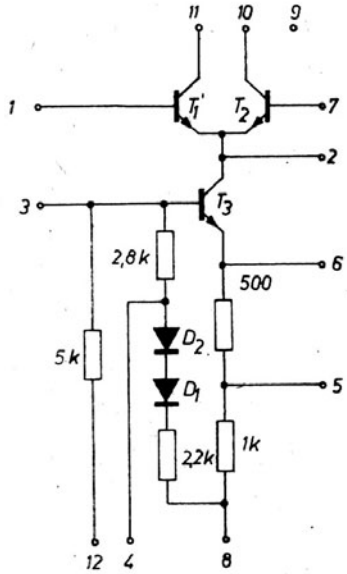


Bild 2.57
Stromlaufplan der Integrierten Schaltung *MA 3005* bzw. *MA 3006*

10 μs und 1 ms einstellbar sind. In Bild 2.56 ist der Stromlaufplan eines 2stufigen Breitbandverstärkers zu sehen. Bei richtig eingestellter Rückkopplung (R) beträgt die Verstärkung 60 dB im Frequenzbereich 20 Hz ... 100 kHz. Die Frequenzcharakteristik wird durch den 100-pF-Kondensator (hohe Frequenzen) und die 0,47-μF-Kondensatoren (tiefe Frequenzen) bestimmt.

2.23. HF-Verstärker *MA 3005*

Die IS *MA 3005* ist für HF-Verstärker bis 120 MHz bestimmt, obwohl ihre Schaltung (Bild 2.57) mehr Ähnlichkeiten mit dem kompensierten Differentialverstärker *MA 3000* aufweist als mit konventionellen HF-Verstärkern. Der Sockel ist 12polig (Bild 1.7f), mit folgender Belegung:

Kontakt 1 Eingang 1
Kontakt 2 Kollektor T_3

Kontakt 3	Basis T_3
Kontakt 4	Anzapfung des Basiswiderstandes von T_3
Kontakt 5	Anzapfung des Emitterwiderstandes von T_3
Kontakt 6	Emitter T_3
Kontakt 7	Eingang 2
Kontakt 8	$-U_{Bat}$, Gehäuse und Substrat
Kontakt 9	$+U_{Bat}$
Kontakt 10	Ausgang 2
Kontakt 11	Ausgang 1
Kontakt 12	Basisvorspannung T_3

Die Grenzwerte des *MA 3005*: Betriebsspannung maximal ± 12 V; maximale Eingangsspannung ± 3,5 V (asymmetrisch) bzw. — 2,5 ... + 3,5 V (symmetrisch); Verlustleistung maximal 300 mW; Umgebungstemperatur — 55 ... + 125 °C. Die Schaltungsmöglichkeiten mit dem *MA 3005* sind vielfältig: Bei geeigneter äußerer Beschaltung können die Transistoren T_1 und T_2 in Kaskade geschaltet werden (2stufiger Verstärker) oder als 1stufiger Differenzverstärker. An Kontakt 12 kann (ähnlich wie am Kontakt 2 bzw. 5 des *MA 3000*) eine negative Regelspannung geführt werden.
TESLA unterscheidet 4 verschiedene Schaltungsarten („Regime") des *MA 3005*:

Regime A	Kontakte 4, 5 und 8 nicht miteinander verbunden
Regime B	Kontakte 4 und 8 verbunden
Regime C	Kontakte 5 und 8 verbunden
Regime D	Kontakte 4, 5 und 8 verbunden

Einige Betriebswerte: Kaskadeverstärkung bei 100 MHz: 15 ... 20 dB (Regime D); Differenzverstärkung bei 100 MHz: 13 ... 16 dB (Regime D); Rauschzahl als Differenzverstärker (Regime D): 9,5 dB; Regelumfang (Regime D): 60 dB.
In Bild 2.58 wird der Stromlaufplan eines UKW-Eingangsteils für einen Rundfunkempfänger mit dem *MA 3005* gezeigt. L_1C_1 ist der nach üblichen Gesichtspunkten dimensionierte Eingangskreis, L_2C_2 der Oszillatorkreis. Die Drehkondensatoren beider Kreise werden im Gleichlauf abgestimmt. L_3C_3

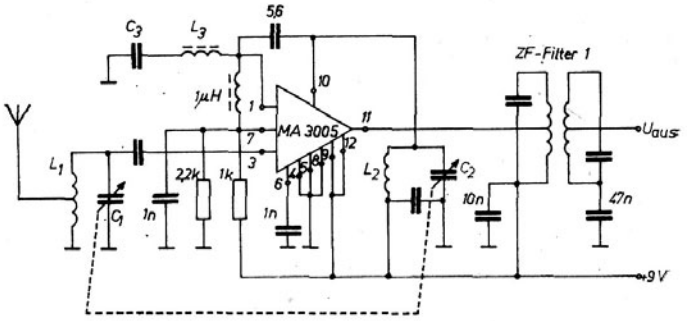


Bild 2.58 UKW-Eingangsteil mit *MA 3005*

ist ein auf die Zwischenfrequenz abgestimmter Saugkreis. Am Kollektor des 1. Verstärkerelements (Anschluß 11) wird die ZF ausgekoppelt und dem 1. ZF-Filter zugeleitet. Einige Daten des Tuners: Betriebsspannung = 9 V bei einem Strom von etwa 4,5 mA. Die Leistungsverstärkung beträgt 15 dB und die Empfindlichkeit 10 μV bei einem Signal/Rausch-Abstand von 30 dB.

In Bild 2.59 wird die mögliche „Fortsetzung" des FM-Empfängers gezeigt, dessen UKW-Eingangsteil soeben kurz erläutert wurde: 3 IS *MA 3005* bilden einen 3stufigen FM-ZF-Verstärker für f = 10,7 MHz. Die Ausgangsspannung des ZF-Verstärkers kann anschließend in einem Verhältnisgleichrichter demoduliert und z. B. in weiteren IS (z. B. *MAA 0403*) bis zum Lautsprecherausgang verstärkt werden. Es ist also ohne weiteres möglich, mit TESLA-IS einen UKW-Empfänger zu bestücken!

Einige wichtige Daten des FM-ZF-Verstärkers in Bild 2.59:

— Spannungsverstärkung etwa 77 dB
— Bandbreite etwa 300 kHz (Q der Filterspulen 70 ... 100)
— Begrenzungseinsatz der Eingangsspannung 30 μV
— Rauschfaktor 4 dB
— Ausgangsspannung begrenzt auf etwa 0,4 V
— Gesamte Gleichstromleistung 48 mW

Die Dämpfungsdioden parallel zu den Sekundärseiten der ZF-Bandfilter sind nicht kritisch. TESLA verwendet den Typ

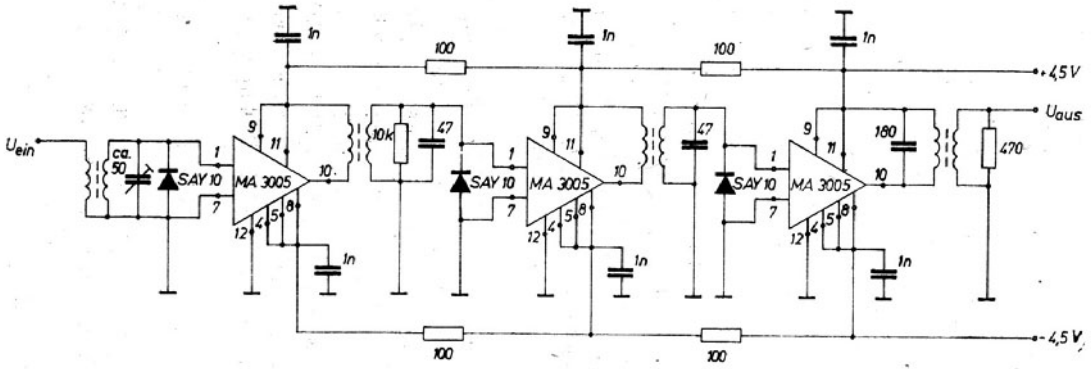


Bild 2.59 ZF-Verstärker eines UKW-Empfängers mit 3 *MA 3005*

KA 207 an dieser Stelle, sie können hier etwa durch unsere *SAY 10* ersetzt werden. Daten der bewickelten Bauelemente (ZF-Filter) werden nicht vorgeschrieben, da es eine große Erleichterung bedeutet, wenn fertige ZF-Filter verwendet werden können.

2.24. HF-Verstärker *MA 3006*

Die IS *MA 3006* ist praktisch identisch mit dem soeben besprochenen *MA 3005*. Als einziger Unterschied ergibt sich eine geringere Asymmetrie der Eingangspannung (0,8 ... 1,1 mV anstelle von 2,6 mV beim *MA 3005*). Alle übrigen Daten, der Aufbau, die Schaltung und die Anwendungen sind gleich denen, die für den *MA 3005* gelten.

Daß man mit den IS *MA 3005* und *MA 3006* nicht nur HF-Stufen aufbauen kann, soll Bild 2.60 zeigen: Hier wird diese IS zur Stabilisierung kleiner Gleichspannungen eingesetzt, also für Spannungen, für die es keine Z-Dioden gibt. In dem gezeigten Beispiel ist die stabilisierte Spannung 3,6 V bei Strömen bis etwa 1 A. (Die TESLA-Transistoren *KF 507* und *KU 601* können natürlich durch andere geeignete Transistoren ersetzt werden, ohne daß die Funktion der Schaltung dadurch in Frage gestellt wird. Allerdings gibt es aus der Produktion des Kombinates VEB *Halbleiterwerk* Frankfurt/Oder keine dem *KU 601* ähnliche Transistortypen).

Die IS wird in der Schaltung wie ein Differenzverstärker be

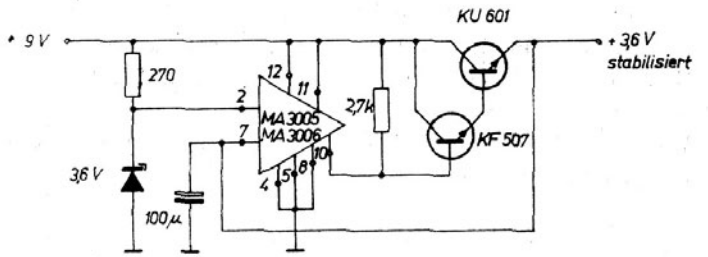


Bild 2.60 Regelschaltung für kleine Gleichspannungen mit *MA 3005* oder *MA 3006*

trieben. An Anschluß 1 wird eine Vergleichsspannung gelegt, die mit der zu stabilisierenden Spannung am Eingang 7 verglichen wird. Die Ausgangsspannung des Differenzverstärkers wird dem Transistor *KF 507* zugeführt, der seinerseits den Längstransistor *KU 601* steuert.
Für die Referenzspannungsquelle werden entweder 5 in Reihe und in Durchlaßrichtung geschaltete Siliziumdioden empfohlen oder 5 Basis-Emitter-Strecken von (sonst vielleicht unbrauchbaren) Si-Transistoren. Es ist also der Wert der Referenzspannung, die die Größe der stabilisierten Spannung direkt festlegt, und der maximale Durchlaßstrom des Längstransistors gibt den Maximalwert des Stromes der stabilisierten Spannung an.

2.25. FM-ZF-Verstärker, Produktdetektor und NF-Vorverstärker *MA 3013*

Bild 2.61 zeigt die Schaltung des *MA 3013*, der für FM-ZF- oder FM-DF-Verstärker bestimmt ist, der Sockel der IS ist 10polig (Bild 1.7e). (Seit 1972 wird diese IS in den Unterlagen von TESLA nicht mehr aufgeführt, ihre Fertigung wurde also eingestellt.)
Die Grenzwerte: $U_{10} = 10$ V, mindestens 5,5 V; $U_{ein} = \pm 3$ V; $P_{v\,max} = 300$ mW.
Folgende charakteristische Betriebswerte werden vom Hersteller genannt: $U_{10} = 7{,}5$ V; $I_8 = 11{,}1 \ldots 25{,}2$ mA; $V_u = 62$ dB (bei 1 MHz) bzw. > 57 dB ($f = 6{,}5$ MHz) bzw. > 52 dB ($f = 10{,}7$ MHz). Bei $3 = 6{,}5$ MHz, $f_{mod} = \pm 25$ kHz; $f_{mod} = 1$ kHz beträgt die NF-Ausgangsspannung an Klemme 9 100 mV. Meßwerte und Anwendungsbeispiele wurden für den *MA 3013* nicht genannt.
Die IS *TAA 450* von *Valvo* ist dem *MA 3013* ähnlich, ohne ihr äquivalent zu sein.

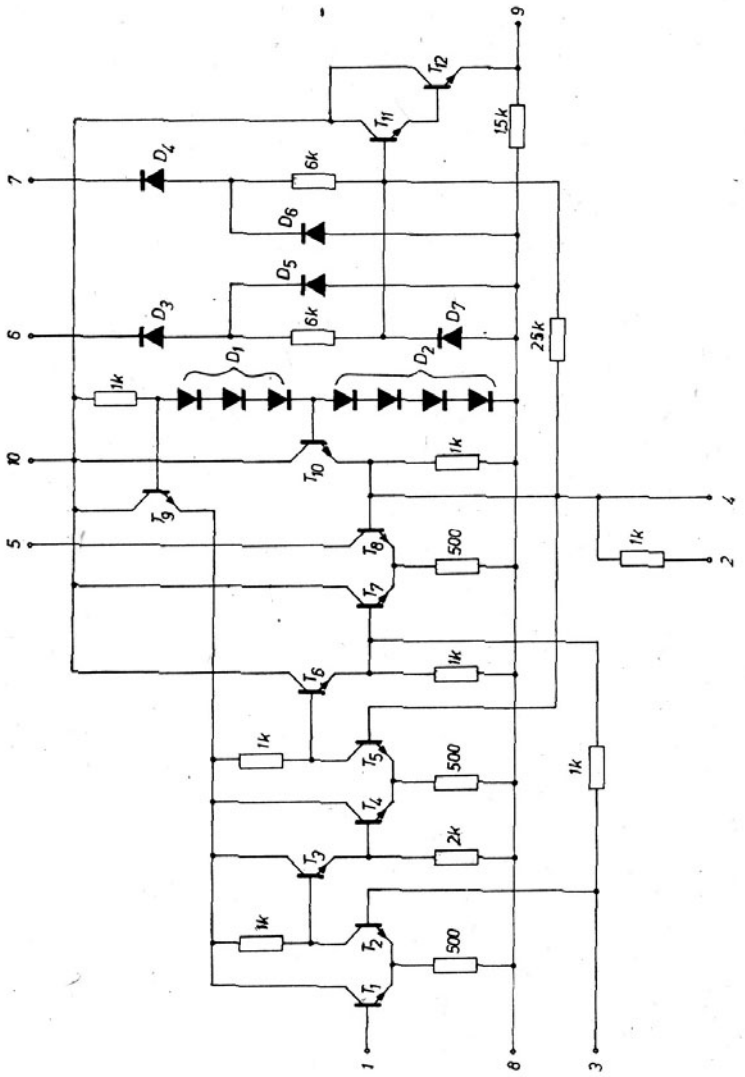


Bild 2.61 Stromlaufplan der IS *MA 3013* und *MA 3014*

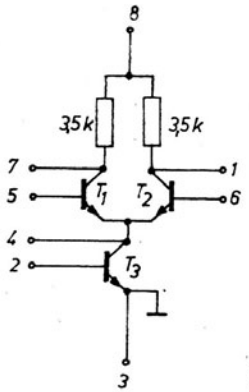


Bild 2.62
Stromlaufplan der IS *MBA 125*

2.26. FM-ZF-Verstärker, Produktdetektor und NF-Vorverstärker *MA 3014*

Alle für die IS *MA 3013* genannten Werte, einschließlich Schaltung, gelten auch für den *MA 3014* mit einer Ausnahme: Der obere Grenzwert der Betriebsspannung beträgt hier 13 V (beim *MA 3013*: 10 V). Auch der *MA 3014* wird seit 1972 in den TESLA-Katalogen nicht mehr aufgeführt.

2.27. Differenzverstärker *MBA 125*

Der Differenzverstärker *MBA 125* (Schaltung nach Bild 2.62, 8poliger Sockel gemäß Bild 1.7d) wurde gelegentlich als einfachste Form des Operationsverstärkers bezeichnet. Allerdings fehlen ihm einige charakteristische Merkmale des Operationsverstärkers wie gegen Unendlich gehender Eingangswiderstand, gegen Null gehender Ausgangswiderstand und die sehr große Verstärkung (s. Seite 20).
Die Anschlußbelegung des Sockels:

Kontakt 1	Ausgang 2
Kontakt 2	Basis T_3
Kontakt 3	$-U_{Bat}$, Gehäuse, Substrat

Kontakt 4	Kollektor T_3
Kontakt 5	Eingang 1
Kontakt 6	Eingang 2
Kontakt 7	Ausgang 1
Kontakt 8	$+U_{Bat}$

Einige Betriebswerte des *MBA 125*: Differenz-Spannungsverstärkung (U_{ein} zwischen den Anschlüssen 5 und 6, U_{aus} zwischen den Anschlüssen 1 und 7) beträgt 14 dB; die Eingangsspannungs-Asymmetrie $< 2\ \mu A$; der Eingangs-Nullstrom $< 50\ \mu A$; die Gleichtaktunterdrückung > 60 dB; der Eingangswiderstand 2,5 kΩ; der Ausgangswiderstand 2,3 kΩ; die Ausgangs-Spitzenspannung maximal 3,5 V und die Bandbreite 1 Hz ... 5 MHz.
Einige wichtige Grenzwerte: $U_{Bat} = \pm\ 7$ V (maximal); Maximalwert der Eingangsspannung (als Differenzverstärker) $\pm\ 4$ V; $U_{1/4} = U_{7/4} = U_{4/3} =$ maximal 7 V; $I_8 = 20$ mA; $P_{v\,max} = 300$ mW bei Umgebungstemperatur bis 45 °C.
In Bild 2.63 wird das U_{CE}/I_C-Diagramm und das I_B-Parameter

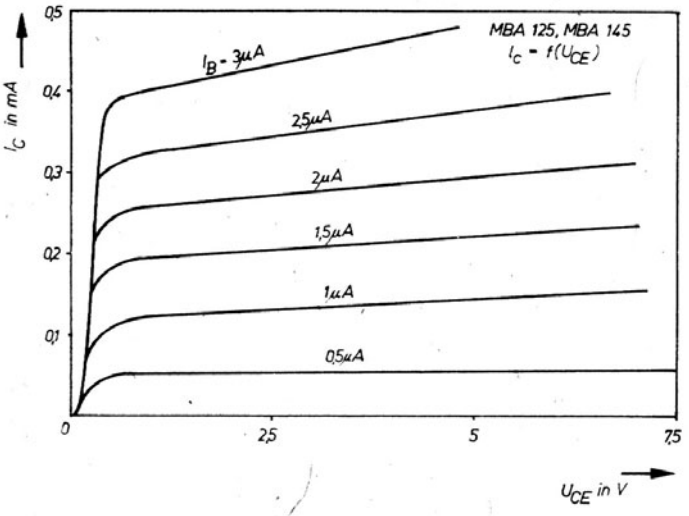


Bild 2.63 U_{CE}/I_C-Diagramm der Verstärkerelemente im *MBA 125*

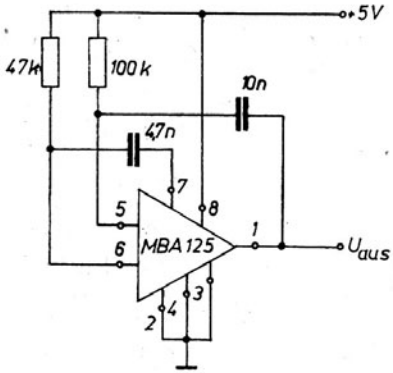


Bild 2.64
Astabiler Multivibrator mit *MBA 125*

für alle 3 Verstärkerelemente gezeigt.
Bild 2.64 zeigt die Anwendung des *MBA 125* als astabiler Multivibrator. Der Generator schwingt ab etwa 1 V Speisespannung. Da für seine Realisierung nur T_1 und T_2 benötigt werden, können alle Elektroden des (nicht benötigten) T_3 an Masse gelegt werden. Das Tastverhältnis mit der im Bild 2.63 angegebenen Dimensionierung ist etwa 1:4,5 (Impulsdauer : Impulspause), die Impulsfrequenz 12 kHz, der Spitzenwert der Ausgangsamplitude etwa 5 V.

2.28. Differenzverstärker *MBA 145*

Der Differenzverstärker *MBA 145* ist ebenso aufgebaut wie der *MBA 125*. Schaltung, Sockelbelegung und Daten sind identisch bis auf folgende Grenzwerte des *MBA 145*:
$U_B = \pm 12$ V; $U_{1/4} = 12$ V; $U_{7/4} = 12$ V; $U_{4/3} = 12$ V.
Ein Schaltbeispiel mit dem *MBA 145* ist in Bild 2.65 zu sehen: Es stellt einen NF-Verstärker dar. Mit der am Emitter des „unteren" Verstärkerelements (Anschluß 3) angeschlossenen RC-Kombination läßt sich der Frequenzgang des Verstärkers beeinflussen. In Bild 2.66 ist ihre Wirkung zu sehen, mit $R_g = 180$ kΩ, $C_k = 0$ wird ein praktisch linearer Frequenzgang bis 10 MHz erreicht.

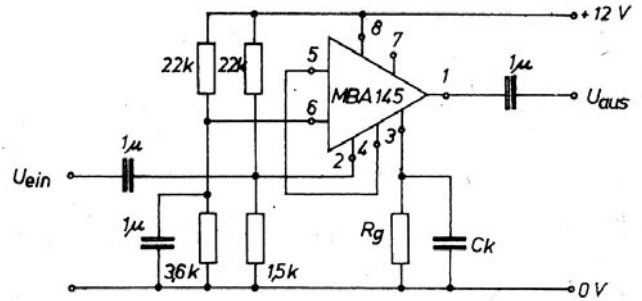


Bild 2.65 NF-Verstärker mit *MBA 145*

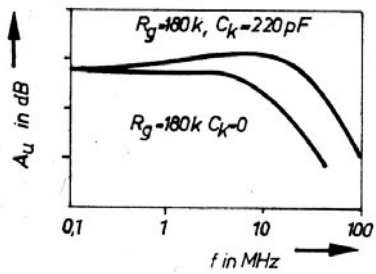


Bild 2.66 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung bei der Schaltung nach Bild 2.65, verschiedene Beschaltungen

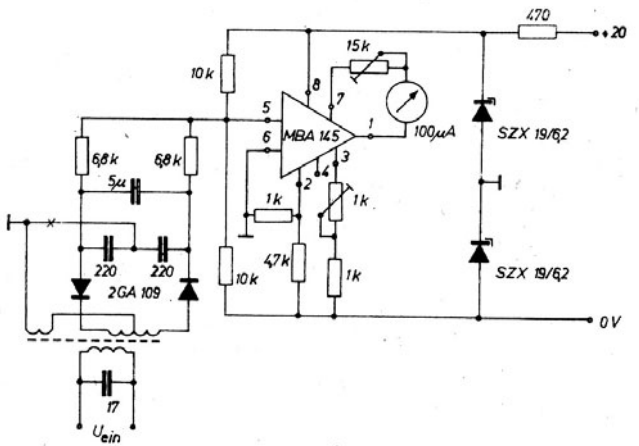


Bild 2.67 Verhältnisgleichrichter mit *MBA 145*

Bild 2.67 zeigt den Stromlaufplan eines Verhältnisgleichrichters mit dem *MBA 145*: Es ist in diesem speziellen Fall kein Demodulator in frequenzmodulierten Übertragungsgeräten — obwohl dies prinzipiell auch möglich wäre. Vielmehr dient die Schaltung zur genauen Anzeige einer Abweichung von der Mittelfrequenz. Das Instrument (Nullpunkt in der Mitte) zeigt eine Abweichung von der „Soll-Frequenz" nach Betrag und Richtung an. Eine ähnliche Schaltung — allerdings weniger empfindlich — verwendet man in vielen UKW-Empfängern als Abstimmanzeige.

Zur eventuellen Verwendung des gezeigten Verhältnisgleichrichters als FM-Demodulator: Die Verbindung „x" ist aufzutrennen und durch einen Widerstand (5 kΩ) zu ersetzen. An „x" kann die demodulierte NF-Spannung abgenommen werden.

Ein Gleichspannungsstabilisator für 9,6 ... 12,8 V (einstellbar) für Ströme bis 0,3 A mit der IS *MBA 145* ist in Bild 2.68 zu sehen. Der Längstransistor *BDY 12* kann für größere Ströme durch einen *KU 611* o. ä. ersetzt werden. Der *MBA 145* arbeitet als bekannter Parallelregler, der einen größeren Transistor steuert. Im Mustergerät wurde bei einer Eingangsspannung von 18 V eine Konstanz der Ausgangsspannung von etwa — 2,2 % bei einem Laststrom von 0 ... 300 mA erreicht.

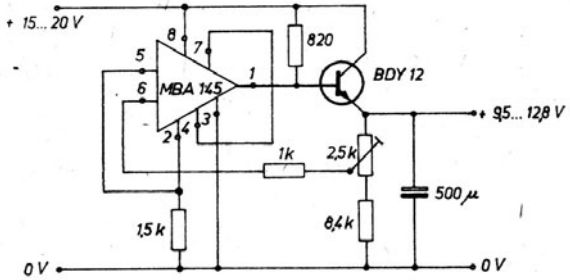


Bild 2.68 Einstellbarer Spannungsregler mit *MBA 145*

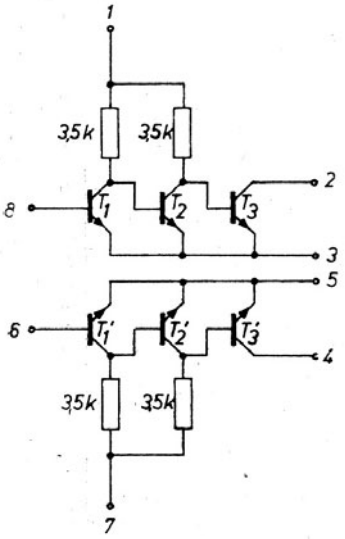


Bild 2.69
Stromlaufplan der Integrierten Schaltung *MBA 225*

2.29. Doppelverstärker *MBA 225*

In Bild 2.69 ist der Stromlaufplan der IS *MBA 225* zu sehen. Der Sockel ist 8polig (Bild 1.7d), seine Anschlußbelegung:

Kontakt 1	$+U_{Bat}$
Kontakt 2	Kollektor T_3
Kontakt 3	Emitter T_1, T_2 und T_3
Kontakt 4	Kollektor T_3'
Kontakt 5	Emitter T_1', T_2', und T_3'
Kontakt 6	Basis T_1',
Kontakt 7	$+U_{Bat}$
Kontakt 8	Basis T_1

Die IS enthält 2 identische 3stufige Verstärker T_1, T_2 und T_3 bzw. T_1', T_2', und T_3', die sowohl als Gegentakt-Halbzüge als auch als Stereoverstärker mit 2 voneinander unabhängigen Kanälen verwendet werden können.
Einige Betriebsdaten: Bei $U_B = 7$ V; $f = 1$ kHz; $R_G = 470\,\Omega$ und $R_z = 470\,\Omega$ wird eine Verstärkung (je Kanal) von > 60 dB erreicht, bei $f = 1$ MHz geht sie auf > 50 dB zurück. Die

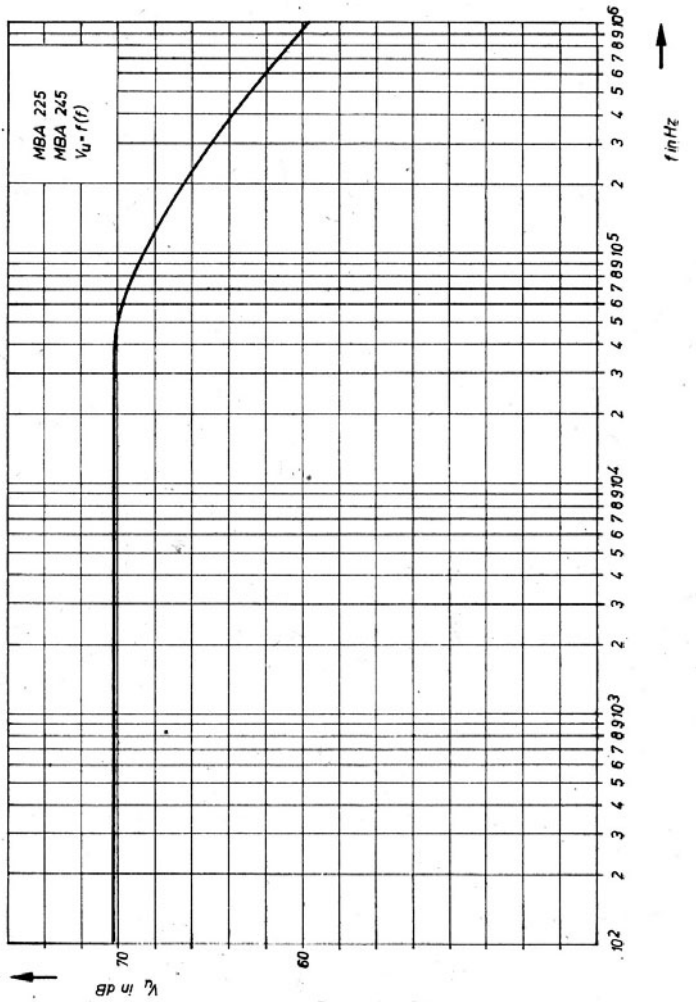


Bild 2.70 Frequenzabhängigkeit der Verstärkung (1 Halbzug) der IS *MBA 225*

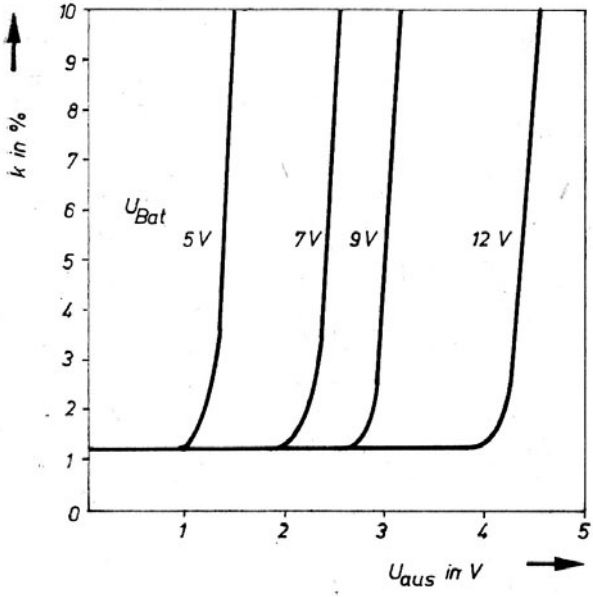


Bild 2.71 Klirrfaktor der Ausgangsspannung des *MBA 225* in Abhängigkeit von dieser

Verstärkungen beider Kanäle sind einander um < 5 dB gleich, Eingangswiderstand je Kanal > 3 kΩ; die nichtlinearen Verzerrungen bei 2,1 V Ausgangsspannung liegen unter 1,5 %; die Rauschspannung im NF-Bereich (40 Hz ... 15 kHz) ist < 5 μV (hier gemessen bei $U_B = 4{,}5$ V).

Einige Grenzwerte: $U_B = U_{2/3} = U_{4/5} = 7$ V; $I_3 = I_5 = 50$ mA; $P_v = 300$ mW bei Umgebungstemperaturen bis 45 °C. Bild 2.70 gibt die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung wieder. Bild 2.71 den Klirrfaktor der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Ausgangsspannung.

Der Stromlaufplan eines Stereo-Vorverstärkers mit dem *MBA 225* ist in Bild 2.72 zu sehen: Mit dem Tandemregler 2×100 kΩ werden die Arbeitspunkte aller Stufen eingestellt. P_1 (ein „Entbrumm-Potentiometer") regelt die Balance. Ein Lautstärkeregler ist in Bild 2.72 nicht eingezeichnet. Die Verstärkung je Kanal ist etwa 100fach.

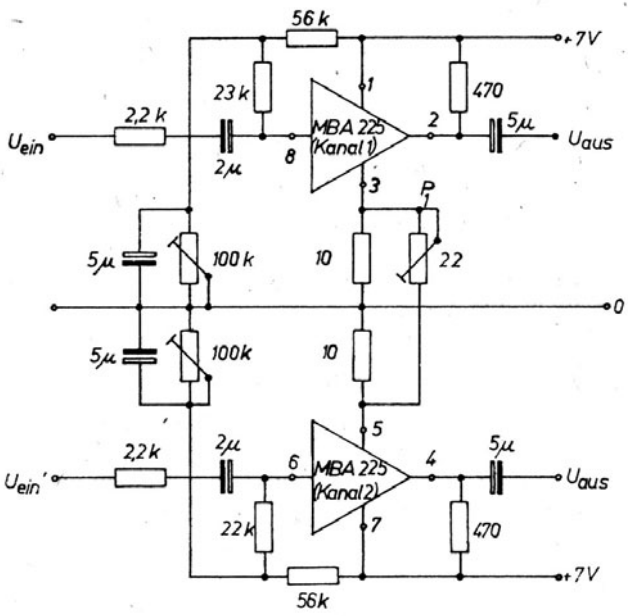


Bild 2.72 Stereo-Vorverstärker mit *MBA 225*

2.30. Doppelverstärker *MBA 245*

Auch bei dem *MBA 245* besteht wieder starke Ähnlichkeit mit dem *MBA 225*. Einzig die Grenzwerte der Versorgungsspannungen sind unterschiedlich. Bei dem *MBA 245* ist $U_{B\,max} = U_{2/3\,max} = U_{4/5\,max} = 12$ V. Alle übrigen genannten Werte beider IS sind identisch.

In Bild 2.73 ist der Einsatz einer IS *MBA 245* als Vorstufe in einem kleinen Stereo-Leistungsverstärker zu sehen. Mit P_1 wird die Balance eingestellt, P_2 und P_3 dienen zur Einstellung der Arbeitspunkte. Einen Lautstärkeregler hat der Verstärker nicht, doch ist es kein Problem, vor ihn ein Tandem-Potentiometer zu schalten. Mit kleinen Werten für C_1 und C_2 lassen sich die tiefen Frequenzen beeinflussen.

Hier die wichtigsten Daten des Stereoverstärkers nach Bild 2.73:

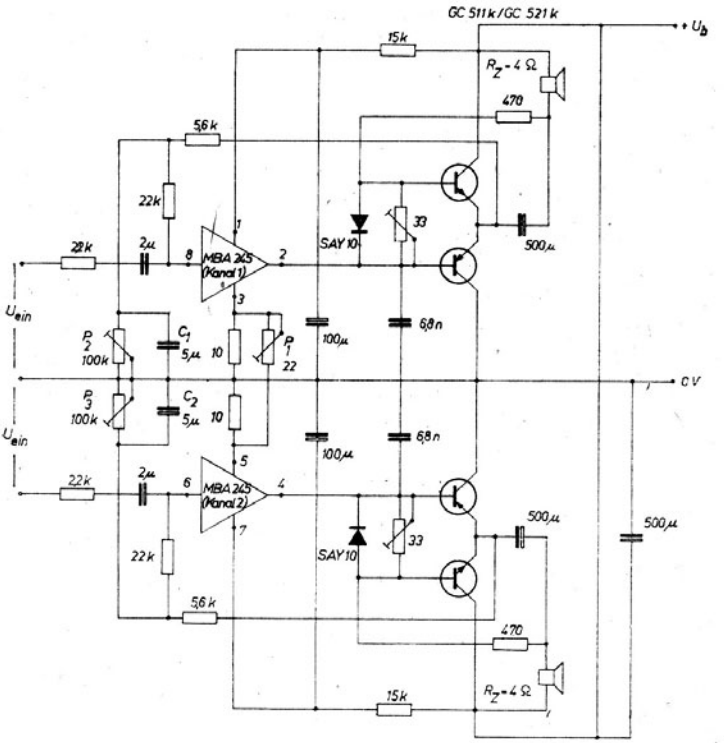


Bild 2.73 Stereo-Wiedergabeverstärker mit *MBA 245*

Speisespannung	12 V
Ruhestrom	40 mA
Stromaufnahme bei Vollaussteuerung	1 A
Maximale Leistung bei $R_s = 5$	2×3 W
3-dB-Grenzfrequenzen	150 Hz, 15 kHz
Eingangsspannung für Vollaussteuerung	3×30 mV
Eingangswiderstand	2×14 kΩ

3. Messungen an Integrierten Schaltungen

Messungen an analogen IS werden sinngemäß gleich ausgeführt wie Messungen an Transistoren, aus denen sie ja (im Prinzip) hervorgegangen sind. Die dabei zu beachtenden Dinge sind folglich auch gleich, z. B. die Forderung, niemals eine falsch gepolte Spannung an einen pn-Übergang anzulegen! Die in dieser Broschüre vorgestellten IS sind im allgemeinen sehr robust, dennoch sollte man mit ihnen auch bei Messungen vorsichtig verfahren. Nicht jede Überlastung macht sich sofort durch einen Defekt bemerkbar, sondern führt vielleicht erst nach längerer Zeit zu einem anscheinend völlig unmotivierten „Sterben" der betreffenden IS.

Im allgemeinen wird man sich in bezug auf die Sockelschaltung nach einer Zeichnung richten. Dort, wo keine Zeichnung vorliegt (oder an der Richtigkeit einer Zeichnung berechtigte

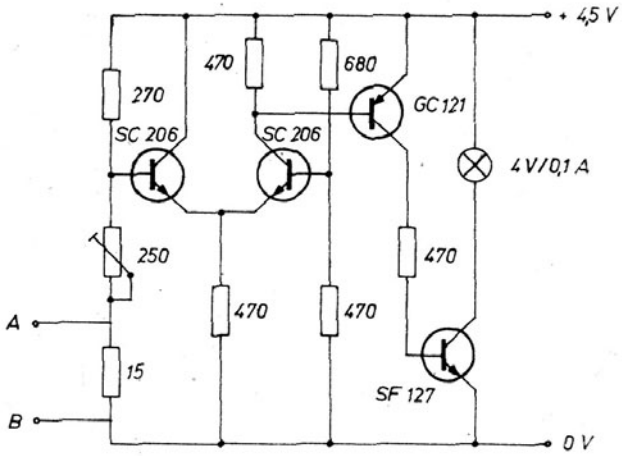


Bild 3.1 Durchgangsprüfer für empfindliche Integrierte Schaltungen

Zweifel auftreten), muß man die Sockelschaltung durch vorsichtige Messungen ermitteln.

Bild 3.1 zeigt den Stromlaufplan eines Durchgangsprüfers für empfindliche Schaltungen, also auch Transistoren und IS. Der Kurzschlußstrom zwischen den Punkten A und B (den Prüfspitzen) beträgt 10 mA, die Leerlaufspannung zwischen den offenen Klemmen A und B ist etwa 150 mV. Damit kann auch kein noch so empfindlicher pn-Übergang beschädigt werden!

4. Vergleichsliste von TESLA-IS zu IS anderer Hersteller

Typ	Hersteller	entspricht TESLA-IS	Bemerkungen
TBA 800	Intermetall	MA 0403	1, 2, 3
TBA 800	Intermetall	MA 0403 A	1, 2, 3
TAA 131	Siemens	MAA 115	1
TAA 141	Siemens	MAA 115	1
TAA 263	Mullard	MAA 115	1
TAA 121	Siemens	MAA 125	1, 2
TAA 141	Siemens	MAA 125	1, 2
TAA 151	Siemens	MAA 325	1, 3
TAA 151	Siemens	MAA 345	1, 3
TAA 293	Coprim	MAA 325	0
SF.C 2709 M	Sescosem	MAA 501	0
μA 709	SGS	MAA 501	0
TAA 522	Siemens	MAA 501	0
TL 1709	AEG-Telefunken	MAA 501	0
MIC 709	Intermetall	MAA 501	0
μA 709 A	SGS	MAA 502	0
MIC 709	Intermetall	MAA 502	0
TAA 521 A	Siemens	MAA 503	0
SF.C 2709 E	Sescosem	MAA 503	0
A 109 C	RFT	MAA 503	1
μA 709 C	SGS	MAA 504	0
SF.C 2709 C	Sescosem	MAA 504	0
TAA 521	Siemens	MAA 504	0
TL 1709 C	AEG-Telefunken	MAA 504	0
MIC 709-5 C	Intermetall	MAA 504	0
IL 709 S	RIZ	MAA 504	0
ZTK 33	Intermetall	MAA 550	0
TAA 550	Mullard	MAA 550	0

Typ	Hersteller	entspricht TESLA-IS	Bemerkungen
TBA 120	Siemens	MAA 661	1
TBA 120	Intermetall	MAA 661	1
TBA 281	Mullard	MAA 723	0
μA 723	SGS	MAA 723	0
MIC 723	Intermetall	MAA 723	0
L 123	SGS	MAA 723	0
TBA 281	Philips	MAA 723	0
SF.C 2723	Sescosem	MAA 723	0
CA 3000	RCA	MA 3000	0
CA 3005	RCA	MA 3005	0
TAA 450	Valvo	MA 3005	1, 2, 3
CA 3006	RCA	MA 3006	0

Bemerkungen: 0 $\triangleq$ keine Änderungen erforderlich, Äquivalenz
1 $\triangleq$ andere Sockelschaltung
2 $\triangleq$ andere Grenzwerte
3 $\triangleq$ andere Technische Daten

5. Liste der Analogen Integrierten Schaltungen von TESLA (nach Anwendungszweck geordnet), Stand 1974

Einkanal-Verstärker für NF- und MF-Zwecke kleiner Leistung:
MAA 115, MAA 125, MAA 145, MAA 225, MAA 245, MAA 325, MAA 435, MAA 525.

Differenzverstärker für NF- und MF-Zwecke:
MBA 125, MBA 145.

Zweikanalverstärker für NF-Zwecke kleiner Leistung:
MBA 225, MBA 245.

NF-Kleinleistungsverstärker:
MA 0402, MA 0403, MA 0403 A.*

Differenzverstärker für HF-Zwecke:
MA 3000.

Verstärker für HF-Zwecke:
MA 3005, MA 3006.

FM-ZF-Verstärker, Begrenzer, FM-Demodulator und NF-Vorverstärker:
MAA 661, MA 3013, MA 3014*.*

Spannungsstabilisatoren:
MAA 550, MAA 723, MAA 723 H.

Operationsverstärker:
MAA 501, MAA 502, MAA 503, MAA 504, MAA 725.

* nicht mehr in den neuesten Tabellen von TESLA enthalten

6. Literatur

Konstručni katalog lineárnich a logckých integrovaných obvodu; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1973—1974

Kompenzovaný diferenciální zesilovač *MA 3000*; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1972

Příklady použiti lineárnich integrovaných obvodu; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1971

Příklady použiti vysofrekvencních lineárnich integrovaných obvodu *MA 3005*, *MA 3006*; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1973

Operačni zesilovač s vysokým siskem *MAA 501*—*MAA 504*; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1972

Polovodičové prvky, duben 1971; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1971

Příklady použití operačnich zesilovaču *MAA 501* ... *MAA 504*; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1972

Neue Halbleiter-Bauelemente; TESLA Rožnov, Rožnov pod Radhoštěm 1973

Machalik, L.: Monolitické integrované obvody TESLA *MAA 115*, *MAA 125* a *MAA 145*; Sdělovací technika 15 (1967) 12, S. 442 bis 446

Schubert, K.-H.: Integrierte Halbleiterschaltungen von TESLA. In: Elektronisches Jahrbuch 1969, S. 101 bis 105; Deutscher Militärverlag, Berlin 1968

Schubert, K.-H.: Lineare integrierte Schaltkreise von TESLA. In: Elektronisches Jahrbuch 1974; Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin 1973

Kühne, H.: Schaltbeispiele mit den integrierten Schaltkreisen *MAA 325* und *MBA 125*; radio fernsehen elektronik 21 (1972) 4, S. 127 bis 130

Kühne, H.: Der integrierte Schaltkreis *MAA 325* — Eigen-

schaften und Anwendungsmöglichkeiten; radio fernsehen elektronik 20 (1971) 13, S. 415 bis 420 und 14, S. 466 bis 469

Kühne, H.: Gleichspannungsstabilisator mit integrierten Schaltkreisen *MBA 145*; radio fernsehen elektronik 20 (1971) 20, S. 673 und 674

Digitální měřice tranzistoru; Amatérské radio 21 (1972) 10, S. 387 bis 390

Lineare Integrierte Schaltungen, sescosem-Handbuch 70; Sescosem Halbleiter GmbH & Co. KG, München

Schubert, K.-H.: Praktische Beispiele zur Anwendung von IS. In: Elektronisches Jahrbuch 1972, S. 83 bis 94; Deutscher Militärverlag, Berlin 1971

Ein Fuchsjagdsender für das 2-m-Band; FUNKAMATEUR 23 (1974) 2, S. 84 ff.

Stehno, I.: Integrovaný obvod *MAA 325*; Sdělovací technika 17 (1969) 9, S. 260 bis 264

Jonda, V.: Astabilní multivibrátor s integrovaným obvodem; Sdědelovací technika 18 (1970) 1, S. 18

Horcik, J.; Simek, J.: Několik aplikaci integrovaných obvodu TESLA-MAA 225 v impulní technice; Sdělovací technika 18 (1970) 10, S. 296 und 297

Jaune, C. A.: Matériels pour la mise au point et la maintenance des ensembles logiques; Le Haut-Parleur, édition professionelle Nr. 1287 (10. 12. 1970), S. 46 bis 48